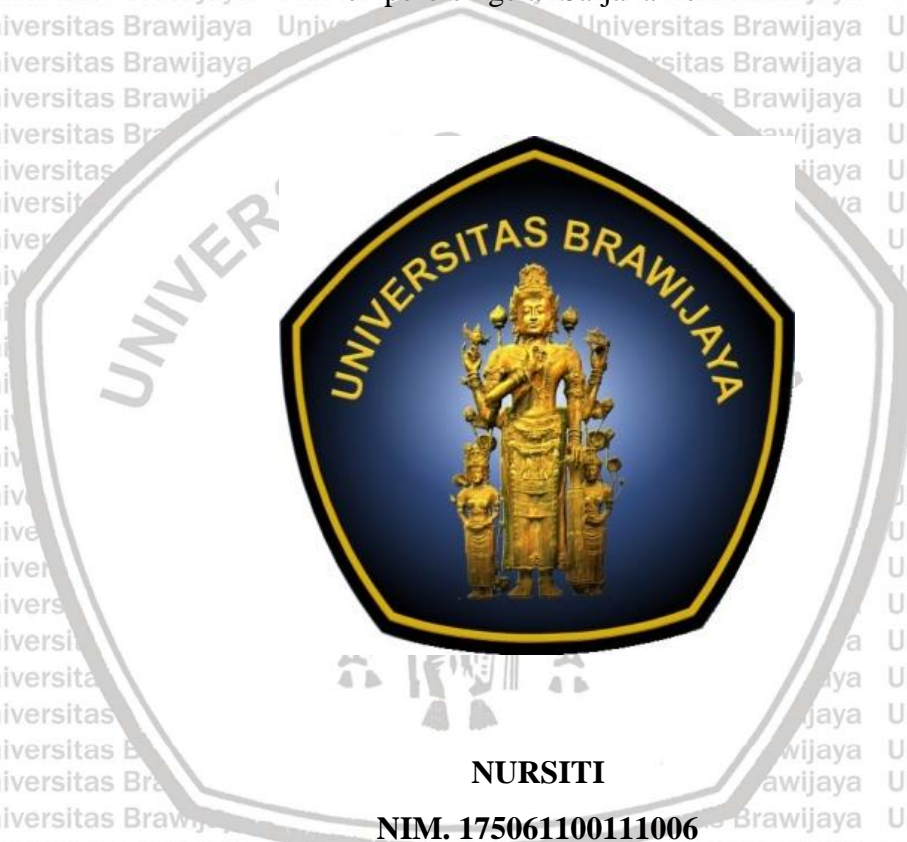


**FILTRASI MEMBRAN POLYESTER TERMODIFIKASI SILIKA
HIDROFOBİK UNTUK PEMURNIAN CAMPURAN CPO – AIR**

**SKRIPSI
TEKNIK KIMIA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NURSITI

NIM. 175061100111006

ERSITA RAHAJENG WIBOWO

NIM. 175061101111020

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2021

LEMBAR PENGESAHAN**FILTRASI MEMBRAN *POLYESTER* TERMODIFIKASI SILIKA HIDROFOBİK
UNTUK PEMURNIAN CAMPURAN CPO – AIR****SKRIPSI
TEKNIK KIMIA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NURSITI
NIM. 175061100111006

ERSITA RAHAJENG WIBOWO
NIM. 175061101111020

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 23 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Supriyono, ST., MT.
NIP. 2016079104251001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Christina W. K., ST., MT.
NIP. 2018078901272001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D
NIP. 196706021998021001

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI

: FILTRASI MEMBRAN POLYESTER TERMODIFIKASI
SILIKA HIDROFOBİK UNTUK PEMURNIAN CPO-AIR

Nama Mahasiswa/NIM

: Nursiti /175061100111006

Ersita Rahajeng Wibowo

/175061101111020

Program Studi

: Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1

: Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani, M.S.

Dosen Penguji 2

: Ir. Bambang Ismuyanto, M.S., IPM

Dosen Penguji 3

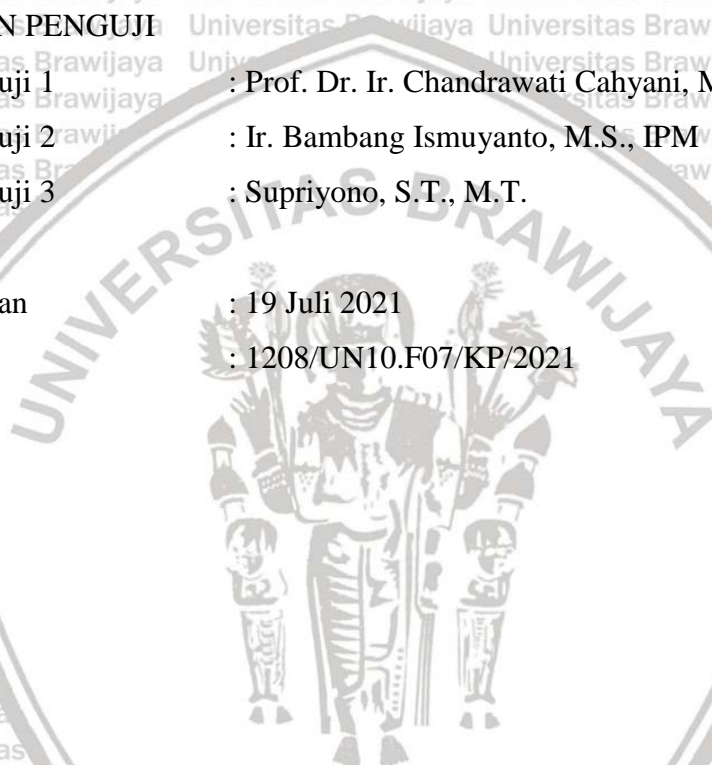
: Supriyono, S.T., M.T.

Tanggal Ujian

: 19 Juli 2021

SK Penguji

: 1208/UN10.F07/KP/2021



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 225 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 23 Juli 2021
Mahasiswa I,



Nursiti
NIM. 175061100111006



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 225 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 23 Juli 2021
Mahasiswa II,



Ersita Rahajeng Wibowo
NIM. 175061101111020

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 25/EUN10.F07.18/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

ERSTA RAHAJENG WIBOWO

Dengan Judul Skripsi :

**Filtrasi Membran Polyester Termomodifikasi Silika Hidrofilik untuk Pemurnian Campuran CPQ-Air
(Filtration of Hydrophilic Modified Polyester Membranes for CPQ-Water Mixture Purification)**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 21 Juli 2021



Dipindai dengan CamScanner
M. T., Ph.D
No. 10002-1001





KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Filtrasi Membran Polyester Termodifikasi Silika Hidrofobik Untuk Pemurnian Campuran CPO-Air”**. Skripsi ini kami ajukan sebagai syarat utama dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Dalam penyusunan skripsi yang berbasis penelitian ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Ayah, ibu, kakak dan adik-adik kami tercinta serta segenap keluarga yang telah memberikan doa, dorongan moral maupun material, serta kasih sayang.
3. Bapak Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
4. Bapak Supriyono, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Utama kami
5. Ibu Dr. Eng. Christina Wahyu Kartikowati, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II kami
6. Evi Sulviani Nengseh, A.Md, selaku laboran Laboratorium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya
7. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan seluruh rekan-rekan Teknik Kimia FT-UB yang telah membantu kami dalam menyelesaikan naskah skripsi ini.
8. Elemenesia Foundation sebagai pemberi beasiswa penelitian sehingga dapat membantu penelitian kami

Kami menyadari bahwa dalam skripsi ini dimungkinkan terdapat kesalahan sehingga kami terbuka untuk segala bentuk kritik dan saran yang membangun. Saran dan kritik dari berbagai pihak sangat diharapkan oleh penulis demi kebaikan penelitian ini. Penulis berharap melalui naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak di masa yang akan datang. Demikian, penulis menyampaikan terima kasih.

Malang, 23 Juli 2021

Nursiti, dan Ersita Rahajeng Wibowo

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
RINGKASAN.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
3.2 Perancangan Penelitian.....	27
3.3 Alat dan Bahan.....	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	31
3.5 Karakterisasi Membran <i>Polyester</i> Termodifikasi Silika Hidrofobik.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Pengaruh Jumlah Pelapisan pada Membran <i>Polyester</i> Termodifikasi Silika Hidrofobik terhadap Besaran Nilai dan Kestabilan Sudut Kontak.....	45
4.2 Uji Performa Membran.....	48
4.2.1 Uji Fluks Membran.....	48
4.2.2 Uji Selektivitas Membran dan Kadar Air.....	53
4.2.3 Perbandingan Fluks dan Selektivitas.....	56
BAB V KESIMPULAN.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik umum minyak kelapa sawit	5
Tabel 2. 2 Karakteristik Umum CPO	5
Tabel 2. 3 Karakteristik Kain <i>Polyester</i>	22
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu	22
Tabel 3. 1 Alat Penelitian	28
Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan	29
Tabel 4. 1 Hasil uji kestabilan sudut kontak	45
Tabel 4. 2 Data Slope Kestabilan Sudut Kontak Membran <i>Polyester</i>	46
Tabel 4. 3 Fluks Membran Polyester Termodifikasi Silika Hidrofobik Terhadap Jumlah Pelapisan dan Laju Alir Feed	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pengolahan Kelapa Sawit (Foo & Aziz, 2019).....	6
Gambar 2. 2 Skema Mode Operasi Pemisahan Membran (a) Batch, (b) Semibatch, dan (c) Continuous (Purkait & Singh, 2018)	11
Gambar 2. 3 Skema Mode Operasi Pemisahan Membran (a) Dead-end, (b) Cross flow (Purkait & Singh, 2018).....	11
Gambar 2. 4 Skema Membran Komposit (Mulder, 1996).....	13
Gambar 2. 5 Contoh Skema (A) Sonikasi Langsung dan (B) Sonikasi Tidak Langsung (Mahbubul, 2019).....	16
Gambar 2. 6 Skema Metode Sol Gel (Purkait & Singh, 2018)	17
Gambar 2. 7 Mekanisme hidrolisis pada kondisi asam (Lisa, 2018).....	18
Gambar 2. 8 Mekanisme Hidrolisis pada Kondisi Basa (Lisa, 2018)	18
Gambar 2. 9 Mekanisme kondensasi dalam suasana asam (Lisa, 2018).....	19
Gambar 2. 10 Mekanisme Kondensasi dalam Suasana Basa (Lisa, 2018).....	19
Gambar 2. 11 Skema Perhitungan Sudut Kontak Berdasarkan Persamaan Young (Kumar & Nanda, 2019).....	23
Gambar 3. 1 Modul Membran Tampak Atas.....	30
Gambar 3. 2Modul Membran Tampak Bawah.....	30
Gambar 3. 3 Modul Membran Tampak Samping.....	30
Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Alat	31
Gambar 3. 5 Diagram Alir Persiapan Feed	31
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pembuatan Larutan Alkali.....	32
Gambar 3. 7 Diagram Alir Persiapan Kain Penyangga	33
Gambar 3. 8 Diagram Alir Preparasi Sol Silika Hidrofilik	34
Gambar 3. 9 Diagram Alir Preparasi Gel Silika Hidrofobik	36
Gambar 3. 10 Skema Alat Pembuatan Gel Silika Hidrofobik.....	37
Gambar 3. 11 Diagram Alir Proses <i>Dip-Coating</i>	38
Gambar 3. 12 Diagram Alir Uji Fluks Membran	40
Gambar 3. 13 Diagram Alir Proses Pemisahan Minyak-Air Menggunakan Membran <i>Polyester</i> Termodifikasi Silika Hidrofobik	41
Gambar 3 14 Diagram Alir Proses Pengujian Kadar Air	43
Gambar 4. 1 Kestabilan Sudut Kontak Membran <i>Polyester</i>	46
Gambar 4. 2 Perbedaan kain <i>polyester</i> (a) sebelum dan (b) sesudah <i>dip-coating</i>	48
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Volume Permeat Uji Fluks Membran Terhadap Waktu	50
Gambar 4. 4 Hubungan Antara Fluks dan Jumlah Pelapisan	52
Gambar 4. 5 Grafik jumlah pelapisan terhadap selektivitas.....	53
Gambar 4. 6 Selektivitas membran <i>polyester</i>	55
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan nilai fluks dan selektivitas membran <i>dip-coating</i> 3 kali dengan laju alir 20 ml/menit	56

RINGKASAN

Nursiti dan Ersita Rahajeng Wibowo, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021, *Filtrasi Membran Polyester Termodifikasi Silika Hidrofobik Untuk Pemurnian Silika Hidrofobik*, Dosen Pembimbing: Supriyono, dan Christina Wahyu Kartikowati.

Crude palm oil (CPO) merupakan minyak sawit mentah yang dihasilkan dari *mesocarp* diperoleh dengan cara ekstraksi dan belum melalui tahap pemurnian. Tahap pemurnian CPO dibutuhkan untuk mendapatkan hasil biodiesel dengan kualitas terbaik. Membran komposit SiO₂ hidrofobik dipilih sebagai separator CPO dan air. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh jumlah pelapisan silika hidrofobik pada membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik terhadap performa membran dalam proses pemurnian CPO-air dan untuk mengetahui pengaruh tingkat hidrofobisitas terhadap performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik pada pemisahan CPO-air.

Membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik merupakan membrane asimetris yang terdiri dari kain *polyester* sebagai lapisan penyangga dan gel silika hidrofobik sebagai lapisan aktif. Fabrikasi lapisan aktif silika hidrofobik menggunakan metode sol-gel dengan larutan natrium silikat (*waterglass*) sebagai prekursor, TEOS (*tetraethoxysilane*) sebagai *modifying agent*, dan isopropanol sebagai pendispersi alkohol. Pelapisan silika pada kain *polyester* menggunakan metode *dip-coating* dengan jumlah pelapisan divariasikan sebanyak 1, 2, 3, 4 dan 5 kali. Umpan mikrofiltrasi digunakan minyak goreng sawit sebagai pengganti CPO dan komposisi air pada campuran minyak-air yaitu 24% (w/w). Laju alir umpan divariasikan yaitu 8 ml/menit dan 20 ml/menit.

Membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dikarakterisan melalui uji sudut kontak, sedangkan pengujian performa membran melalui uji fluks dan selektivitas. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah membran dengan jumlah pengulangan *dip-coating* sebanyak 5 kali memiliki nilai hidrofobisitas paling tinggi yaitu 163,289°, dan membran *polyester* dengan jumlah pengulangan *dip-coating* sebanyak 3 kali memiliki kestabilan hidrofobisitas paling tinggi dengan penurunan sudut kontak sebesar 0,0880°/hari. Sedangkan membran *polyester* dengan jumlah pengulangan 1 kali memiliki nilai hidrofobisitas paling rendah yaitu 153,645° dan memiliki kestabilan hidrofobisitas terendah dengan penurunan sudut kontak sebesar 0,3188°/hari. Selain itu, jumlah pelapisan dapat mempengaruhi performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik pada proses pemurnian CPO-air. Membran dengan jumlah pelapisan sebanyak 3 kali dan laju alir 20 ml/menit memiliki performa yang paling baik dengan nilai fluks dan selektivitas yaitu 245,47 L/m²jam dan 99,512%.

Kata kunci: hidrofobik, kestabilan, membran, silika, sudut kontak

SUMMARY

Nursiti and Ersita Rahajeng Wibowo, *Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, November 2014, Effect of Heating Temperature of Nitriding in a, Juli 2021, Filtration of Hydrophobic Modified Polyester Membranes for CPO-Water Mixture Purification, Academic Supervisor: Supriyono, and Christina Wahyu Kartikowati.*

Crude palm oil (CPO) is crude palm oil produced from mesocarp obtained by extraction and has not gone through the refining stage. The CPO purification stage is needed to get the best quality biodiesel results. The hydrophobic SiO₂ composite membrane was chosen as the CPO and water separator. The purpose of this study was to determine the effect of the amount of hydrophobic silica coating on the hydrophobic silica modified polyester membrane on the membrane performance in the CPO-water purification process and to determine the effect of the hydrophobicity level on the performance of hydrophobic silica modified polyester membrane on the separation of CPO-water.

Hydrophobic silica modified polyester membrane is an asymmetric membrane consisting of polyester fabric as a supporting layer and hydrophobic silica gel as an active layer. Fabrication of hydrophobic silica active layer was carried out using the sol-gel method with sodium silicate solution (waterglass) as a precursor, TEOS (*tetraethoxysilane*) as a modifying agent, and isopropanol as an alcohol dispersion. Silica coating on polyester fabric uses the dip-coating method with the repetition of the process being varied 1, 2, 3, 4 and 5 times. The microfiltration feed used palm cooking oil as a substitute for CPO and the composition of water in the oil-water mixture was 24% (w/w). The feed flow rate was varied, namely 8 ml/minute and 20 ml/minute.

The hydrophobic silica-modified polyester membrane was characterized by a contact angle test, while the membrane performance was tested by flux and selectivity tests. The results obtained from this study are membranes with 5 repetitions of dip-coating have the highest hydrophobicity value of 163.289°, and polyester membranes with 3 repetitions of dip-coating have the highest hydrophobicity stability with a decrease in contact angle of 0,0880°/day. While the polyester membrane with the number of repetitions of dip-coating 1 time has the lowest hydrophobicity value of 153.645° and has the lowest hydrophobicity stability with a decrease in contact angle of 0.3188°/day. In addition, the number of dip-coating repetitions can affect the performance of hydrophobic silica-modified polyester membranes in the CPO-water purification process. Membranes with 3 layers of coating and a flow rate of 20 ml/min had the best performance with flux and selectivity values of 245.47 L/m²hr and 99.512%.

Keywords: contact angle, hydrophobicity, membrane, silica, stability

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang terbarukan, dapat didegradasi secara biologi, serta emisi gas yang lebih ramah lingkungan (Andhika, 2016).

Biodiesel memiliki keunggulan yaitu dapat menekan polusi, meningkatkan efisiensi mesin, serta tidak mengandung toksin atau racun serta dapat dioperasikan pada musim dingin atau pada suhu -20°C (Devi dkk, 2015). Hasil pengamatan menunjukkan kadar emisi gas buang seperti CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , dan hidrokarbon dari bahan bakar campuran biodiesel dan solar lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar petrosolar (Prihandana, 2016).

Bahan baku untuk produksi biodiesel biasanya berasal dari minyak nabati, seperti minyak kedelai, minyak bunga matahari dan minyak kelapa sawit. Namun dibandingkan minyak nabati lainnya, minyak kelapa sawit merupakan bahan baku yang paling prospektif karena menghasilkan minyak tertinggi dengan rata-rata sekitar 4-5 ton minyak/ha setiap tahun. Dua produk utama yang dihasilkan dari biji kelapa sawit yaitu minyak sawit mentah dan minyak inti sawit. Minyak sawit mentah atau *crude palm oil* (CPO) dijadikan pilihan sebagai bahan produksi biodiesel. (Santos dkk, 2018).

Crude palm oil (CPO) dihasilkan dari *mesocarp* buah sawit yang diperoleh dengan cara ekstraksi menggunakan air panas atau uap untuk melepaskan minyak dari sel-sel minyak buah sawit yang pecah (Wenten dkk, 2019). Proses produksi CPO pada industri melibatkan lima unit operasi yaitu sterilisasi tandan buah segar (TBS), penguapan TBS, *digestion*, ekstraksi, dan klarifikasi minyak. Pada sterilisasi, TBS dipanaskan pada 40 psig menggunakan uap jenuh selama 70 – 90 menit. TBS kemudian diumpankan ke alat pengupas untuk memisahkan anak buah dari tandan. Buah kecil dipindahkan ke digester pada suhu 80 – 90°C untuk mengiris *mesocarp* dan memecah buah menjadi mash homogen yang selanjutnya diklarifikasi untuk mendapatkan CPO. (Nizam, 2019)

Proses klarifikasi CPO bertujuan untuk menghilangkan kandungan air, padatan dan kotoran (Inyang dkk, 2018). Proses pemurnian CPO konvensional terdiri dari beberapa tahap yaitu *screening*, pengendapan dan sentrifugasi. Proses *screening* menggunakan *vibrating screen* untuk memisahkan *non-oil solid* (NOS). Pengendapan menggunakan tangki pengendapan silinder untuk mengendapkan lumpur dan pasir menggunakan konsep perbedaan densitas. CPO

kemudian dialirkan ke *oil purifier* untuk mengurangi kandungan air dan kotoran menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan perbedaan densitas. (Larasati dkk, 2016)

Metode pemurnian secara konvensional memiliki kelemahan yaitu kebutuhan energi yang tinggi, biaya peralatan yang tinggi, waktu operasi yang lama (Wenten dkk, 2019) serta menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang mencemari badan air (Poerwadi dkk, 2020). Teknologi membran telah hadir sebagai metode alternatif yang layak untuk berbagai pengolahan minyak (Wenten dkk, 2019). Proses pemisahan menggunakan membran memiliki banyak keuntungan yaitu efisiensi tinggi, biaya operasi relatif rendah (Gebreslase, 2018), konsumsi energi rendah, hampir tidak ada minyak yang hilang (Aryanti dkk, 2018), selektivitas tinggi, bersifat modular sehingga mudah ditingkatkan skalanya, serta aman untuk lingkungan karena tidak menggunakan bahan berbahaya (Kusworo dkk, 2018).

Pemisahan air dari *Crude palm oil* (CPO) dapat dilakukan dengan menggunakan membran superhidrofobik. Permukaan superhidrofobik merupakan anti air yang tinggi yang umumnya ditandai dengan sudut kontak air yang tinggi yaitu di atas 150° (Wenten dkk, 2019). Banyak penelitian telah dilakukan mengenai permukaan superhidrofobik pada substrat padat yang kaku seperti lembaran kaca halus dan permukaan logam. Selain itu, peningkatan fungsi tekstil menyebabkan permintaan akan sifat hidrofobik kain menjadi berkembang pesat sehingga kain superhidrofobik menjadi topik penelitian terkini karena aplikasi potensialnya sangat besar (He dkk, 2020).

Penelitiannya sebelumnya yang dilakukan oleh Liao dkk (2018) membuat membran komposit dengan melapiskan hibrid mGO/PDMS superhidrofobik pada kain *polyester* untuk pemisahan minyak-air. Hasil penelitian menunjukkan sudut kontak terbesar mencapai 157° serta *polyester* superhidrofobik memiliki stabilitas termal dan kimia yang sangat baik. Kain *polyester* memiliki sifat hidrofob, *chemical resistance*, elastisitas yang tinggi, serta stabilitas dimensi yang baik (Rohaeti, 2017). Kain *polyester* berpotensi untuk dijadikan membran komposit hidrofobik karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi sehingga membran tidak mudah rusak. Selain itu, harga kain *polyester* relatif murah dan mudah didapatkan di pasaran.

Modifikasi permukaan kain *polyester* bertujuan untuk meningkatkan sudut kontak agar menghasilkan membran superhidrofobik. Oktavian dkk (2019) dalam penelitiannya membuat membran silika superhidrofobik yang dilapiskan pada kain katun dan menghasilkan membran superhidrofobik dengan sudut kontak sebesar $158,193^\circ$ dan penurunan sudut kontak sebesar $\pm 8^\circ$ pada hari kedua. Kestabilan hidrofobisitas membran dapat ditingkatkan dengan memperbanyak

jumlah pengulangan proses *dip coating* (Yang dkk, 2010). Pelapisan SiO_2 pada kain *polyester* menggunakan metode *dip coating* diharapkan menghasilkan membran superhidrofobik sebagai alternatif pemisahan CPO-air.

Pada proses pemisahan menggunakan membran, salah satu faktor yang dapat mempengaruhi *yield* filtrasi yaitu tekanan sebagai *driving force*, dan tekanan yang digunakan berhubungan dengan laju alir cairan yang melewati membran (Susmanto dkk, 2016). Meidinariasty dkk (2019) dalam penelitiannya mengenai uji kinerja mikrofiltrasi mendapatkan hasil bahwa laju alir dapat mempengaruhi nilai fluks dan persen rejeksi. Namun, berdasarkan data hasil penelitiannya, perubahan laju alir tidak memberikan perubahan secara signifikan terhadap fluks dan rejeksinya.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini bertujuan untuk membuat membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik dengan meninjau pengaruh jumlah pelapisan SiO_2 terhadap kestabilan sifat hidrofofisitas membran. Selain itu, peninjauan laju alir *feed* dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan laju alir terhadap fluks dan selektivitas membran *polyester* superhidrofobik pada pemisahan CPO-air.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat disusun dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah pelapisan silika hidrofofik pada kain *polyester* terhadap performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik pada proses pemurnian CPO-air?
2. Bagaimana pengaruh tingkat hidrofofisitas terhadap performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik pada pemisahan CPO-air?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pengganti *Crude palm oil* (CPO), digunakan minyak goreng kelapa sawit.
2. Sumber silika berasal dari larutan Natrium Silikat.
3. Pengujian kadar air menggunakan metode termogravimetri.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh jumlah pelapisan silika hidrofofik pada membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik terhadap performa membran dalam proses pemurnian CPO-air.

2. Untuk mengetahui pengaruh tingkat hidrofofisitas terhadap performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik pada pemisahan CPO-air.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai jumlah pelapisan pada permukaan membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik yang memiliki hidrofofisitas paling stabil dan menghasilkan performa membran terbaik. Selain itu, penelitian ini juga memberikan informasi mengenai kondisi operasi optimum yang menghasilkan efisiensi tertinggi pada proses pemisahan campuran CPO-air.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Kelapa Sawit

2.1.1 Karakteristik minyak kelapa sawit

Proses pemurnian CPO menjadi minyak kelapa sawit melibatkan proses penghilangan pigmen kelapa sawit, fosfolipid, asam lemak, dan komponen lain yang dapat mempengaruhi kualitas minyak kelapa sawit (Corley dkk, 2016). Tabel 2.1 merupakan parameter umum kualitas minyak kelapa sawit.

Tabel 2. 1 Karakteristik umum minyak kelapa sawit

Parameter	Nilai	Satuan	Referensi
Bilangan peroksida	Maks. 10	mek O ₂ /kg	SNI 7709:2012
Asam lemak bebas (ALB)	Maks. 0,3	%	SNI 7709:2012
Air	Maks. 0,1	%	SNI 7709:2012
Vitamin A	Min. 45	IU/g	SNI 7709:2012
Absorbansi UV pada 233 nm	<1,5	-	Corley dkk, 2016

2.1.2 Crude palm oil (CPO)

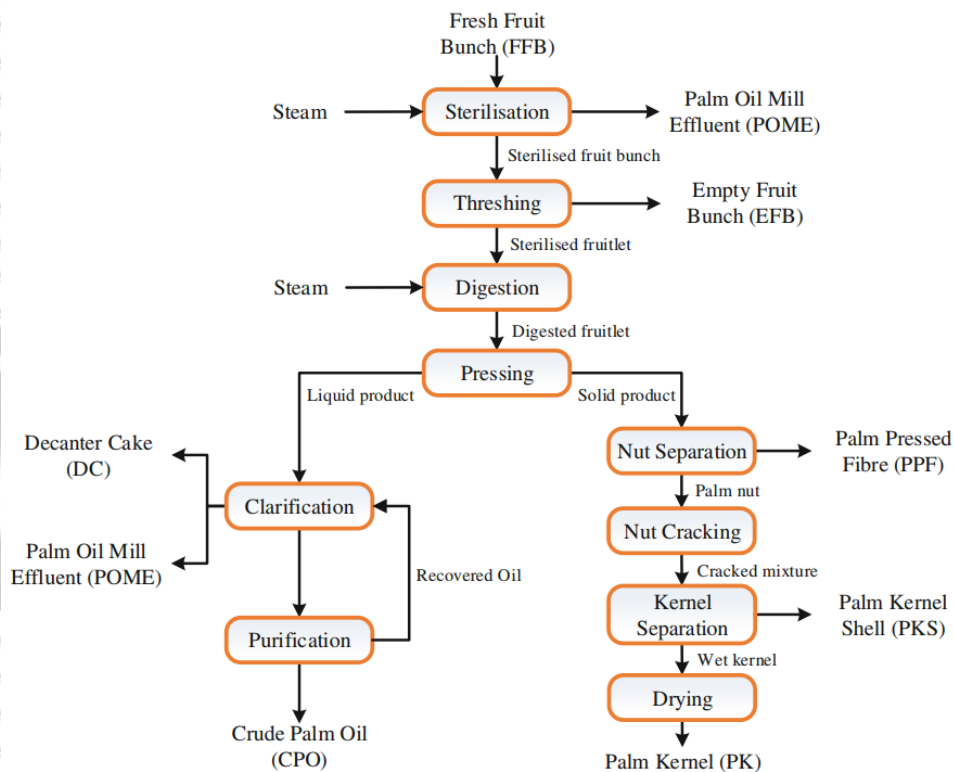
Minyak sawit menghasilkan dua jenis minyak dari buahnya yaitu minyak mesocarp sebagai minyak sawit mentah (CPO) dan minyak inti sebagai minyak inti sawit (PKO) (Lai dkk, 2012). Minyak sawit merupakan sumber minyak nabati terbesar dan turunannya untuk banyak produk makanan dan olekimia (Nizam, 2019). Sebelum menjadi produk pangan, CPO melewati beberapa proses sehingga memenuhi standar mutu yang telah ditentukan. Karakteristik umum *Crude palm oil* (CPO) tersebut sesuai dengan Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Umum Crude palm oil (CPO)

Parameter	Nilai	Satuan	Referensi
Densitas	± 890	kg/cm ³	Corley dkk, 2016
Asam lemak bebas (ALB)	Maks. 5	%	SNI 01-2901-2006

Air	Maks. 0,25	%	SNI 01-2901-2006
Impurities	Maks. 0,25	%	SNI 01-2901-2006
Karoten	420	ppm	Codex, Stan 210-1999
DOBI	1,83		PORAM

2.1.3 Pengolahan *Crude palm oil* (CPO)



Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pengolahan Kelapa Sawit (Foo & Aziz, 2019)

Pada umumnya, kelapa sawit diproses melalui beberapa unit seperti pada gambar 2.1. Sterilisasi tandan buah segar (TBS) bertujuan untuk menonaktifkan aktivitas enzim lipolitik dan memudahkan pemisahan buah dari tandan dengan cara dipanaskan pada 40 psig menggunakan uap jenuh selama 70 – 90 menit. TBS yang sudah disterilkan kemudian dikirim ke alat pengupas untuk memisahkan buah dari tandan. Buah diumpukan ke digester pada suhu 80 – 90°C untuk mengiris mesocarp, proses ini membantu mengurangi viskositas minyak dan menghancurkan exocarp. (Nizam, 2019)

Proses pressing akan memeras minyak dari serat mesocarp dalam buah. Selama proses pressing, produk padat dan cair dihasilkan. Produk padat terdiri dari

campuran serat mesocarp dan kacang sawit. Sedangkan, produk cair berupa air (45 – 55%), minyak sawit (35 – 45%) dan bahan berserat lainnya. Minyak kemudian diklarifikasi dan dimurnikan untuk menghasilkan CPO, proses pemurnian CPO melalui operasi sentrifugal dan pengeringan. Untuk meminimalkan penurunan kualitas minyak, produk CPO harus disimpan pada suhu 32 – 40°C. (Foo & Aziz, 2019)

2.1.4 Metode pemisahan CPO-air di Industri

Metode pemisahan *crude palm oil* (CPO) pada industri yaitu *screening*, *gravity separation* (pengendapan), sentrifugasi, dan *drying*. Komposisi umpan sebelum memasuki proses pemisahan yaitu 76% minyak (CPO) dan 24% air (Corley dkk, 2016). Proses *screening* menggunakan *vibrating screen* untuk memisahkan *non-oil solid* (NOS) yang berukuran besar seperti pasir, serabut, tanah dan kotoran. CPO kemudian dipompa ke tangki pengendapan silinder untuk mengendapkan pasir dan lumpur menggunakan prinsip perbedaan densitas, dalam waktu tertentu CPO dengan densitas lebih ringan akan terapung ke permukaan bagian atas tangki. Pada tahap selanjutnya CPO disentrifugasi dalam alat *oil purifier* untuk memisahkan air dan kotoran dari CPO menggunakan prinsip perbedaan densitas. CPO yang masih mengandung air dipompa ke *vacuum dryer* untuk mengurangi kadar airnya. Setelah melalui alat pengering (*vacuum dryer*) CPO dengan mutu standar dipompa ke tangki penyimpanan dengan suhu mencapai 45-60°C. (Larasati dkk, 2016)

Proses pemisahan di atas merupakan metode umum yang digunakan di industri minyak kelapa sawit. Selain itu, metode lainnya untuk pemisahan minyak-air yang paling berkembang yaitu absorpsi minyak menggunakan bahan adsorben berpori, seperti aerogel, spons, dan serbuka gergaji (Poerwadi dkk, 2020).

2.2 Membran

2.2.1 Definisi dan prinsip kerja membran

Kata membran berasal dari Bahasa Latin *membrana* yang berarti kulit. Secara umum, membran adalah penghalang tipis, ditempatkan di antara dua fase atau media yang memungkinkan satu atau lebih konstituen untuk berpindah secara selektif dari satu media ke media lain dengan adanya kekuatan pendorong (*driving force*). Proses pada membran merupakan kombinasi antara perpindahan massa dan momentum. Sifat membran bergantung pada faktor-faktor seperti porositas, diameter pori, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran partikel zat terlarut, dan afinitas antara umpan dan bahan membran. (Purkait & Singh, 2018)

Prinsip pemisahan membran berbeda untuk setiap jenis membran. Dalam proses pemisahan menggunakan membran, komponen umpan yang melewati membran dikenal sebagai permeat, dan komponen umpan yang tertinggal di permukaan membran disebut retentat. Membran berpori memisahkan umpan dari permeat berdasarkan ukuran, sedangkan membran nonpori berdasarkan hubungan antara komponen umpan dan bahan membran. Laju perpindahan massa dipengaruhi oleh interaksi fisik dan kimiawi antar komponen yang disebut fluks. *Driving force* membran berupa tekanan, konsentrasi, kimia, listrik, atau termal. Transpor membran terdiri dari tiga jenis, yaitu pasif, aktif, dan difasilitasi atau diperantarai oleh pembawa. (Purkait & Singh, 2018)

2.2.2 Klasifikasi membran

Berdasarkan struktur atau morfologi, membran terbagi menjadi dua yaitu:

1) Membran isotropik (simetris)

Membran simetris terbagi lagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a. Membran berpori

Memiliki struktur yang kaku dan sangat kosong dengan pori-pori yang saling terhubung dan terdistribusi secara acak (Baker dkk, 2004). Mekanisme pemisahan berdasarkan pada ukuran komponennya (Purkait & Singh, 2018).

b. Membran tidak berpori

Membran padat dan tidak berpori, terdiri dari film padat yang memisahkan komponen umpan berdasarkan difusi karena adanya *driving force* seperti tekanan, konsentrasi, dan termal (Purkait & Singh, 2018). Pemisahan berbagai komponen campuran bergantung pada kecepatan transpor relatifnya melalui membran yang ditentukan oleh difusivitas dan kelarutannya dalam bahan membran (Baker dkk, 2004).

c. Membran bermuatan

Membran bermuatan bisa padat atau berpori mikro dengan dinding pori membawa ion bermuatan positif atau negatif tetap, membran dengan ion bermuatan positif tetap disebut sebagai membran pertukaran anion karena mengikat anion di fluida, dan begitupun sebaliknya (Baker dkk, 2004). Pemisahan didasarkan pada

difusivitas dan selektivitas ion-ion yang melintasi membran (Purkait & Singh, 2018).

2) Membran anisotropik (asimetris)

Membran asimetris terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan atas yang padat dengan ketebalan 0,1-0,5 μm dan sub-lapisan berpori dengan ketebalan 50-150 μm . Lapisan atas dan sub-lapisan dapat dibuat dalam satu langkah seperti metode pemisahan fasa atau secara terpisah seperti metode pelapisan. Lapisan membran yang dibuat dari polimer berbeda disebut membran komposit. Fungsi lapisan atas yang padat yaitu untuk memberikan selektivitas pada membran dan sub-lapisan berpori untuk memberikan kekuatan mekanik. (Purkait & Singh, 2018)

2.2.3 Klasifikasi proses pemisahan membran

Proses pemisahan membran dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria. Proses membran merupakan teknik filtrasi dimana membran bertindak sebagai pembatas selektif antara dua fase. Karena itu, komponen umpan spesifik dibawah pengaruh *driving force* akan melewati membran sebagai permeat dan komponen umpan lainnya tetap berada di permukaan membran sebagai retentate. Berdasarkan ukuran pori membrannya, proses membran dibagi menjadi empat kategori, yaitu:

1) Mikrofiltrasi

Kemampuan pemisahan atau retensi bergantung pada ukuran pori membran. Ukuran pori mikrofiltrasi berkisar antara 100-10000 nm dengan tekanan antara 10-300 kPa. Mikrofiltrasi biasanya digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi, sedimen, alga, protozoa, dan bakteri. (Purkait & Singh, 2018)

2) Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi memiliki ukuran pori berkisar 1-100 nm dioperasikan pada tekanan 200-1000 kPa dengan fluks yang tinggi.

Ultrafiltrasi dapat memisahkan komponen berukuran mikro dan submikron dari umpan seperti koloid, padatan tersuspensi, dan molekul organik. (Purkait & Singh, 2018)

3) Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi memiliki ukuran pori 0,5-5 nm. Tekanan operasinya lebih rendah dari reverse osmosis. Nanofiltrasi mampu menolak

partikel kecil tidak bermuatan dan ion multivalen, tetapi karena sifat elektrostatis permukaan, ion monovalen dapat melewatinya. (Purkait & Singh, 2018)

4) Reverse osmosis

Membran RO merupakan membran padat yang memiliki ukuran pori <1 nm. Reverse osmosis mampu menolak partikel terkecil dari umpan seperti ion monovalen, kandungan organik terlarut, dan virus. Dengan menggunakan gaya pendorong berupa tekanan, pelarut dengan konsentrasi zat lebih tinggi akan mengalir ke konsentrasi yang lebih rendah. (Purkait & Singh, 2018)

Proses membran juga dapat diklasifikasikan berdasarkan mode operasinya, yaitu:

1) *Batch*

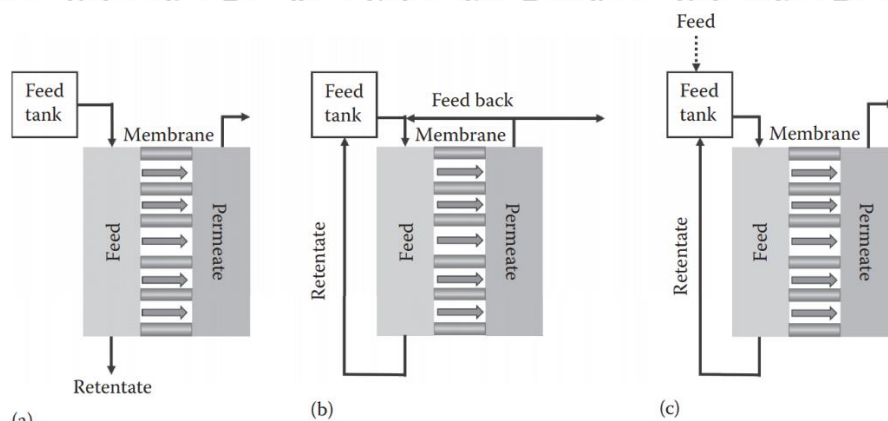
Umpan pada mode *batch* disimpan dalam sel membran sebelum proses dimulai, kemudian proses berjalan sampai umpan habis dan harus diisi ulang di sel membran untuk proses selanjutnya. Cara operasi ini baik untuk proses pemisahan membran, karena membran memiliki waktu pembersihannya selama tahap pengisian ulang. Hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi proses dan umur membran, serta mengurangi biaya dan pengotoran membran. Banyak digunakan di industri makanan, farmasi, dan bioteknologi. (Purkait & Singh, 2018)

2) *Semibatch*

Mode operasi ini mirip dengan mode batch, tetapi ada beberapa modifikasi untuk memungkinkan penambahan/penghilangan feed atau retentate/permeate ataupun resirkulasi retentate/permeate ke pengaturan membran. Mode operasi semibatch meningkatkan selektivitas dan kontrol membran, serta mengurangi jumlah fouling. (Purkait & Singh, 2018)

3) *Continuous*

Mode operasi dimana penambahan kecepatan dan penghilangan permeate berlangsung secara terus menerus. Mode ini mengurangi waktu operasi, tetapi meningkatkan terjadinya pengotoran membran karena terus beroperasi sehingga mengurangi efisiensi proses secara keseluruhan.



Gambar 2. 2 Skema Mode Operasi Pemisahan Membran (a) Batch, (b) Semibatch, dan (c) Continuous (Purkait & Singh, 2018)

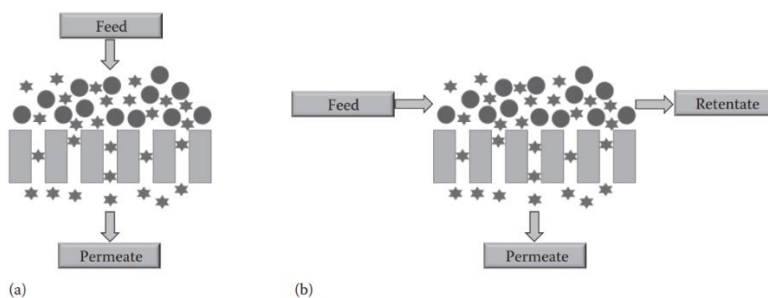
4) Mode lainnya

a. *Dead-end filtration*

Pada mode operasi dengan aliran *dead-end*, umpan diberikan tegak lurus dengan membran seperti pada gambar 2.2a. Efisiensi mode ini sangat tinggi, tetapi tingkat pengotorannya tinggi sehingga membran perlu dibersihkan berkali-kali selama operasi yang mana menambah biaya. Mode ini cocok untuk proses membran dengan durasi lebih lama. (Purkait & Singh, 2018)

b. *Cross flow filtration*

Mode operasi cross flow, umpan diberikan sejajar dengan membran seperti pada gambar 2.2b. Pada mode ini pengotoran membran lebih rendah. Pengoptimalan kecepatan umpan dan modul membran dapat membantu mencapai transpor massa yang lebih baik dan pengotoran membran yang rendah. (Purkait & Singh, 2018)



Gambar 2. 3 Skema Mode Operasi Pemisahan Membran (a) Dead-end, (b) Cross flow (Purkait & Singh, 2018)

2.2.4 Metode fabrikasi membran

Pada fabrikasi membran keramik, terdapat 8 metode yang digunakan, yaitu:

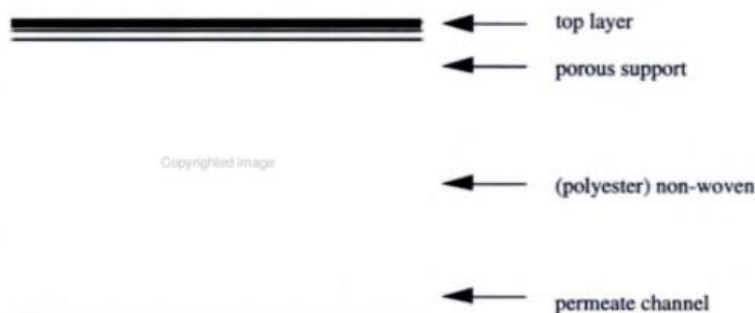
(Purkait & Singh, 2018)

- 1) Metode sol-gel, digunakan untuk pembuatan larutan sol koloid atau polimer yang selanjutnya dilapiskan pada penyangga membran keramik mikropori.
- 2) *Dip-coating*, lapisan bahan dilapiskan di atas membran penyangga dengan cara merendam substrat ke dalam suspensi bahan pelapis.
- 3) *Pressing*, metode ini menerapkan tekanan tinggi 20-100 MPa untuk memadatkan prekursor membran keramik (serbuk) sehingga menghasilkan bentuk membran keramik sesuai keinginan.
- 4) *Extrusion*, proses ini banyak digunakan untuk produksi tabung keramik berpori dalam skala besar. Bentuk, ukuran, dan porositas bergantung pada cetakan yang digunakan.
- 5) *Slip casting*, dimana suspensi bubuk dituangkan ke dalam cetakan berpori dan pelarut dari suspensi akan berdifusi melalui pori-pori cetakan membentuk lapisan gel.
- 6) *Tape casting*, merupakan metode persiapan membran keramik dengan cara pengecoran.
- 7) *Chemical vapor deposition*, metode ini melibatkan pengendapan lapisan substrat tipis di atas penyangga membran keramik. Campuran gas dimasukkan ke ruang reaksi yang dipanaskan hingga suhu reaksi, dan saat reaksi berlangsung maka lapisan tipis mengendap di atas penyangga.
- 8) *Sintering*, terdiri dari tiga tahap yaitu presintering, termolisis dan sintering akhir. Pada presintering, bahan dipanaskan sehingga kandungan air menguap. Termolisis merupakan proses untuk menghilangkan komponen organik.

2.3 Membran Komposit Hidrofobik

Membran komposit merupakan modifikasi matriks membran dengan penambahan filler dalam matriks polimer yang bertujuan untuk menghasilkan dan meningkatkan kemampuan fisik dan performa membran sesuai tujuan yang diinginkan (Saragih, 2018). Membran komposit tersebut terdiri dari bahan yang berbeda, dengan bahan membran yang sangat selektif sebagai lapisan tipis di atas sublapisan berpori. Selektivitas sebenarnya ditentukan oleh sifat lapisan tipis, sedangkan sublayer berpori hanya

berfungsi sebagai penopang. Beberapa prosedur pelapisan yang dapat digunakan untuk menghasilkan membran komposit, diantaranya pelapisan celup (*dip-coating*), polimerisasi plasma, polimerisasi antar muka, dan polimerisasi in-situ (Mulder, 1996).



Gambar 2. 4 Skema Membran Komposit (Mulder, 1996)

Membran komposit hidrofobik merupakan membran modifikasi dimana partikel silika hidrofobik didepositkan ke dalam media berupa kain katun atau material penyangga lainnya (Imansari dkk, 2018).

2.3.1 Pembuatan Sol-Gel

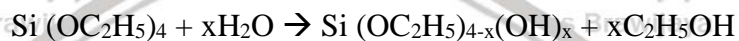
Metode sol-gel digunakan secara luas untuk sintesis hidrofobik bahan hibrida organik-anorganik. Hal tersebut disebabkan sintesis yang lebih mudah melalui hidroksilasi dan kondensasi berbagai prekursor logam. Keuntungan utama dari metode sol-gel dibandingkan metode lain adalah ketahanannya pada suhu rendah, homogenitas yang sangat baik, ukuran dan bentuk yang terkontrol, dan fungsionalisasi permukaan yang mudah. Sifat permukaan bahan hibrida organik-anorganik yang disintesis dapat dengan mudah diatur dengan banyak gugus fungsi. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan saat mensintesis bahan hibrida organik-anorganik hidrofobik dengan ukuran partikel dan morfologi permukaan terkontrol menggunakan metode sol-gel, yaitu sifat gugus alkil dan panjang rantai karbon, pelarut, rasio molar air terhadap alkoksida, waktu, suhu, dan katalis asam atau basa yang digunakan untuk sintesis (Ha & Nagappan, 2018).

Teknik sol – gel mempunyai kelebihan diantaranya proses yang sederhana dan cepat karena reaksi pengikatan berlangsung secara bersamaan dengan proses terbentuknya padatan. Selain itu, teknik modifikasi melalui proses sol – gel lebih mudah dilakukan di laboratorium karena reaksi dapat dilakukan pada temperatur kamar sehingga dapat menggunakan alat-alat sederhana (Astuti, 2012).

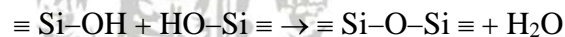
2.3.2 TEOS

Tetraethyl Orthosilicate (TEOS) merupakan salah satu prekursor yang dapat dijadikan sebagai sumber silika. TEOS berguna untuk memberikan ion-ion radikal silika saat proses hidrolisis (Susilowati, 2018). TEOS yang berfungsi untuk memodifikasi permukaan silika aerogel dari bersifat polar menjadi non-polar. Karena bersifat non-polar maka akan menolak air yang mempunyai sifat polar (Bramantya, 2018).

Selama reaksi hidrolisis, gugus etoksi TEOS bereaksi dengan molekul air membentuk perantara $[\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_{4-x}(\text{OH})_x]$ dengan gugus hidroksil yang menggantikan gugus etoksi. Reaksi hidrolisis diawali dengan serangan anion hidroksil pada molekul TEOS. Reaksi kimianya dinyatakan sebagai berikut (Susilowati, 2018):



Kemudian terjadi reaksi kondensasi setelah reaksi hidrolisis selesai. Pada reaksi kondensasi, gugus hidroksil dari zat antara $[\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_{4-x}(\text{OH})_x]$ bereaksi dengan salah satu gugus etoksi TEOS lainnya (kondensasi alkohol) atau gugus hidroksil lainnya dari hidrolisis intermediate (kondensasi air) untuk membentuk Si-O-Si. Reaksi kondensasi dinyatakan sebagai berikut (Susilowati, 2018):



Reaksi keseluruhannya sebagai berikut (Susilowati, 2018):



2.3.3 Natrium Silika

Natrium silikat merupakan bahan baku pembuatan silica gel yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam proses pembuatan semen. Natrium silikat dapat dihasilkan melalui proses sintesis pasir kuarsa dengan larutan alkali. Berdasarkan data dari berbagai sumber, menjelaskan bahwa pasir kuarsa memiliki kandungan silika sekitar 55,3 – 99,7% (Trivana, 2015).

Silikat, merupakan suatu senyawa anion dengan satu atom silicon pusat yang dikelilingi oleh ligan elektronegatif sehingga mendapatkan pasangan kation lain (Na^+) untuk membentuk senyawa bermuatan netral. Senyawa ini digunakan sebagai perekat, formulasi semen, perlindungan api pasif, pengolahan tekstil dan kayu, pembuatan keramik tahan api, dan produksi *silica gel* (Kristy, 2019).

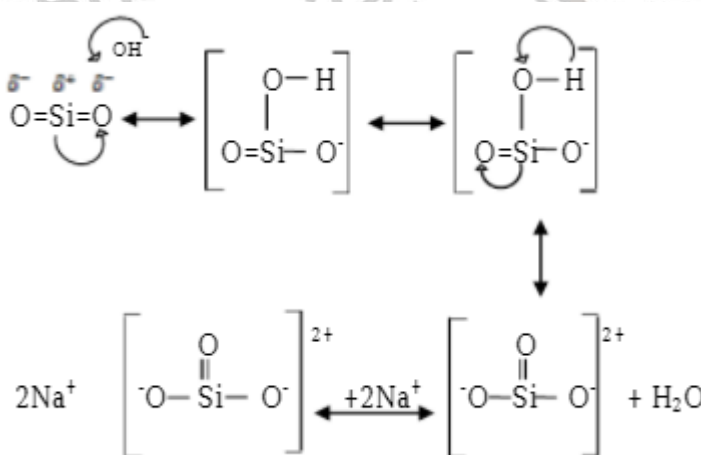
Na_2SiO_3 mempunyai ikatan ionik yang terbentuk dengan kecenderungan menangkap atau melepas elektron agar stabil seperti konfigurasi gas mulia. Pada awalnya, Natrium Silikat diproduksi dengan cara memanaskan pasir kuarsa dan Na_2CO_3 dalam tungku pemanas (*furnace*) pada suhu 1400°C menurut reaksi kimia (Kristy, 2019):



Namun saat ini, Natrium Silikat dapat diproduksi dari bahan-bahan yang mengandung silica dengan cara ekstraksi dengan larutan alkali. Oleh karena itu, Natrium Silikat dapat dibuat pada suhu yang relative rendah yaitu $95\text{--}105^\circ\text{C}$, menurut reaksi kimia berikut:



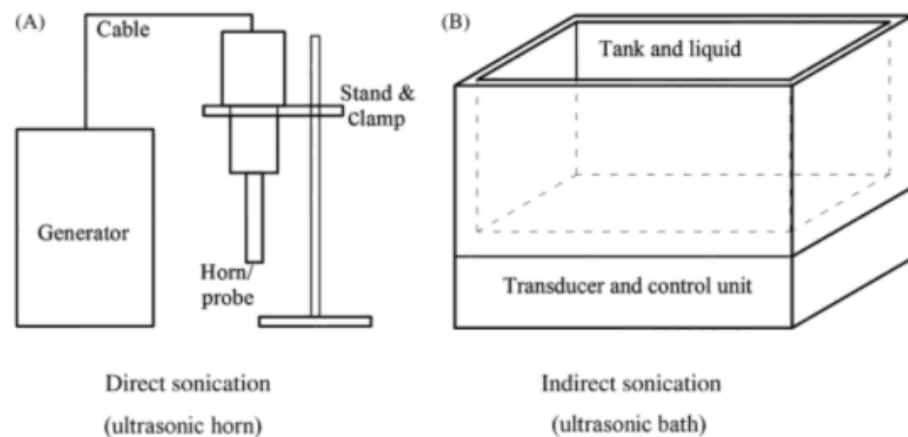
Mekanisme reaksi yang diperkirakan pada pembentukan natrium silikat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.5 Mekanisme Reaksi Pembentukan Natrium Silikat (Trivana, 2015)

2.3.4 Alat

Peralatan yang digunakan dalam tahapan pembuatan sol-gel adalah *sonicator*. Berdasarkan prinsip alat ultrasonic, maka prosesnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu ultrasonikasi langsung dan ultrasonikasi tidak langsung. Secara umum, ultrasonic probe dikelompokkan ke dalam tipe ultrasonic langsung dikarenakan langsung terendam pada larutan campuran. Sedangkan ultrasonic bath dikelompokkan ke dalam tipe ultrasonik tidak langsung, karena sampel akan disimpan di dalam sebuah container (wadah) dan container tersebut akan terendam di dalam bath berisi liquid (cairan). Sehingga gelombang ultrasonik akan disalurkan melalui liquid (cairan) yang ada di dalam bath (Mahbubul, 2019).

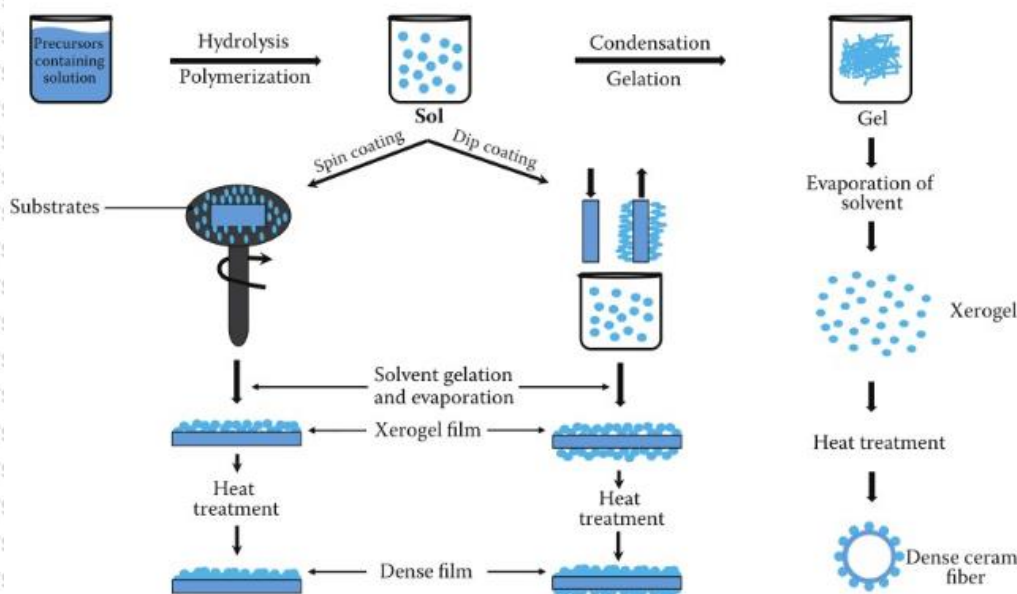


Gambar 2. 5 Contoh Skema (A) Sonikasi Langsung dan (B) Sonikasi Tidak Langsung (Mahbubul, 2019).

2.3.5 Mekanisme Sol-Gel

Nanopartikel silika hidrofilik dan hidrofobik disintesis dengan metode sol-gel menggunakan prekursor TEOS dan MTMS dalam dua tahap. Pada tahap pertama, nanopartikel silika hidrofilik disintesis menggunakan TEOS dengan larutan metanol, air, dan amonia dengan konsentrasi molar MOS: MeOH: H₂O: NH₄OH sebesar 1: 15,3: 0,71: 5 × 10⁻⁴. Pada tahap kedua, nanopartikel silika hidrofobik disintesis dari prekursor MTMS dengan adanya larutan metanol, air, dan asam oksalat dengan konsentrasi molar MTMS: MeOH: H₂O: asam oksalat sebesar 1: 16: 0,93: 0,05 (Ha & Nagappan, 2018).

Metode sol-gel adalah metode yang banyak digunakan untuk pembuatan membran keramik. Metode ini memiliki keuntungan yaitu pemrosesan yang mudah, porositas yang dapat disesuaikan, dan kekerasan serta stabilitas termal yang baik (Xiu, 2008). Metode ini dapat digunakan dalam persiapan membran ultrafiltrasi atau membran padat sebagai aplikasi untuk berbagai cairan ataupun berbasis gas. Metode tersebut menggunakan dua skema berdasarkan persiapan pelapisan larutan koloid, yaitu skema sol koloid dan skema sol polimer. Kedua skema tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Purkait & Singh, 2018)



Gambar 2. 6 Skema Metode Sol Gel (Purkait & Singh, 2018)

Skema sol koloid menggunakan proses peptisasi untuk membuat larutan koloid yang stabil. Dalam proses ini, endapan logam alkoksida digunakan. Alkoksida logam ini dilarutkan dalam alkohol dan terhidrolisis dengan adanya air atau asam. Akibatnya, logam alkoksida mengendap dan endapan ini disimpan pada suhu tinggi untuk durasi yang cukup lama. Endapan ini menghasilkan larutan koloid yang stabil. Larutan koloid tersebut digunakan untuk pelapisan membran keramik *microporous*. Selanjutnya dilakukan pengeringan, tahap pengeringan ini harus dilakukan dengan benar karena akan berpengaruh pada pembentukan retakan di lapisan membran. Pembentukan retakan dapat dikurangi dengan menggunakan pengikat dalam larutan pelapis. Penopang membran keramik berlapis kemudian disintering pada suhu 500°C hingga 800°C. Langkah-langkah berbeda yang terlibat dalam proses tersebut adalah presipitasi, peptisasi, dan sintering (Purkait & Singh, 2018).

Untuk skema sol polimer, hidrolisis logam alkoksida dihidrolisis sebagian dengan adanya alkohol dengan menggunakan sedikit air. Gugus hidroksil aktif alkoksida bereaksi menghasilkan polimer anorganik, yang dilapisi pada penyangga membran keramik mikropori. Langkah-langkah berbeda yang terlibat dalam skema sol polimer adalah hidrolisis, polimerisasi, dan ikatan silang (Purkait & Singh, 2018).

Metode sol-gel dapat digunakan untuk menyiapkan membran keramik dengan berbagai macam sifat berdasarkan jenis bahan dan prosedur pelapisan yang

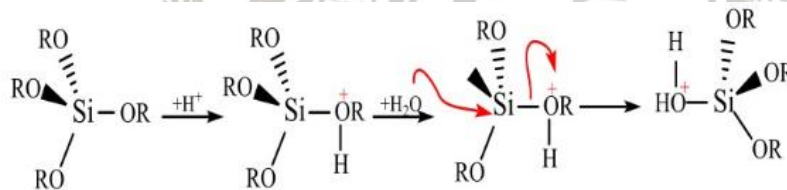
digunakan. Metode ini dapat menghasilkan berbagai ukuran pori membran dan dapat diaplikasikan untuk *feed* cair dan gas. (Purkait & Singh, 2018).

2.3.6 Reaksi Pembentukan

Dalam proses pembentukan sol-gel terdapat empat tahapan yaitu tahap hidrolisis, kondensasi, *aging* atau pematangan dan *drying* atau pengeringan. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing tahapan (Lisa, 2018):

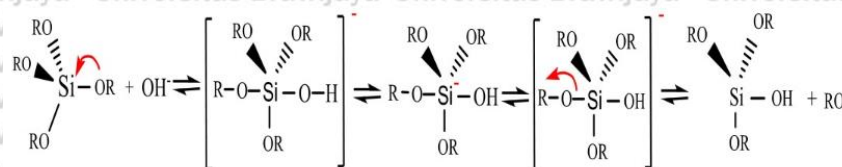
1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap terjadinya reaksi penggantian gugus alkoksida (-OR) dengan gugus karboksil (-OH). Proses hidrolisis tersebut dapat terjadi pada kondisi asam dan basa. Pada kondisi asam, gugus alkoksida akan terprotonasi dengan cepat. Contohnya dengan menggunakan TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*) akan menyebabkan gugus alkoksida lebih mudah terprotonasi oleh H_2O . Hal ini dikarenakan TEOS tersebut akan mengambil kerapatan dari atom silikon yang mengakibatkan alkoksidanya bersifat elektrofilik. Mekanisme hidrolisis pada kondisi asam dapat dilihat pada reaksi di bawah ini :



Gambar 2. 7 Mekanisme hidrolisis pada kondisi asam (Lisa, 2018)

Dengan konsentrasi katalis yang sama, alkoksida silikon pada kondisi basa akan terprotonasi lebih lama dibandingkan dengan alkoksida silikon pada kondisi asam yang disebabkan oleh kecenderungan oksigen alkoksida untuk menolak gugus -OH. Mekanisme hidrolisis pada kondisi basa dapat dilihat pada reaksi di bawah ini:

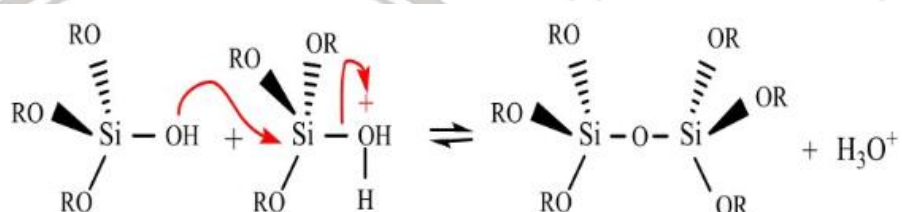


Gambar 2. 8 Mekanisme Hidrolisis pada Kondisi Basa (Lisa, 2018)

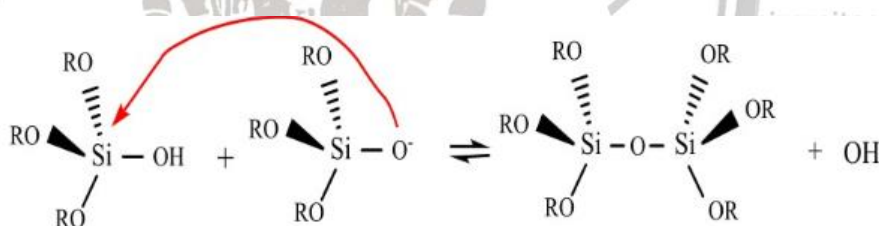
2. Kondensasi

Umumnya reaksi kondensasi akan terjadi sebelum reaksi hidrolisis selesai. Molekul yang sudah terhidrolisis akan membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Reaksi kondensasi ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu kondensasi dalam suasana asam dan kondensasi dalam kondisi basa (Lisa, 2018).

Pada kondisi asam silanol akan terprotonasi yang menyebabkan silikon lebih elektrofilik sehingga lebih mudah diserang oleh nukleofilik. Pada kondisi basa nukleofilik akan menyerang silanol yang terdeprotonasi pada asam silika netral menghasilkan ikatan siloksan. Mekanisme kondensasi dalam suasana asam dan basa dapat dilihat pada reaksi di bawah ini:



Gambar 2. 9 Mekanisme kondensasi dalam suasana asam (Lisa, 2018)



Gambar 2. 10 Mekanisme Kondensasi dalam Suasana Basa (Lisa, 2018)

3. Aging atau pematangan

Pada proses *aging*, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat, dan menyusut di dalam larutan. Fase cair yang masih mengandung partikel padat dan menggumpal akan terus bereaksi dan akan mengembun saat gel mengering. Gel yang dihasilkan sangat fleksibel. Gel tersebut akan semakin kental yang disebabkan oleh kelompok-kelompok cabang disampingnya yang mengembun. Hal ini menyebabkan cairan yang terdapat di dalam gel akan diserap oleh kelompok-kelompok cabang tersebut sehingga gel mengalami penyusutan. Proses ini akan terus berlanjut selama di dalam gel masih terdapat fleksibilitas (Lisa, 2018).

4. *Drying* atau pengeringan

Pelarut yang tersisa perlu dihilangkan melalui proses *drying* atau pengeringan yang disertai dengan penyusutan dan densifikasi. Ketika cairan dikeluarkan dari gel, ada beberapa hal yang mungkin terjadi. Apabila cairan dalam gel digantikan oleh udara maka akan terjadi perubahan besar pada struktur jaringan. Jika gel dikeringkan dengan penguapan maka jaringan gel akan runtuh dan menghasilkan xerogel. Jika pengeringan terjadi pada kondisi superkritis, maka struktur jaringan dapat dipertahankan, dan akan membentuk gel dengan pori-pori yang besar yang disebut aerogel (Lisa, 2018).

Proses *drying* ini dilakukan dengan cara menguapkan pelarut untuk mendapatkan struktur sol gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi. Untuk mendukung polikondensasi lebih lanjut dan untuk meningkatkan sifat mekanik serta stabilitas struktural gel, maka diperlukan proses pembakaran melalui tahap sintering akhir, densifikasi, dan pertumbuhan butir (Lisa, 2018).

Untuk mendapatkan suatu prekursor sol dengan kualitas yang baik, maka prekursor sol tersebut diletakkan di atas substrat yang akan menghasilkan sebuah film misalnya dengan *dip-coating* atau spin coating dengan cara dilemparkan ke dalam sebuah wadah yang sesuai dengan bentuk atau model yang kita inginkan misalnya keramik, gelas, dan aerogels. Metode sol gel ini dapat diterapkan dalam bidang optik, elektronik, energi, ruang, biosensor, serta obat (Lisa, 2018).

2.3.7 *Dip-coating*

Dip-coating merupakan proses pencelupan atau perendaman membran pendukung dalam sol yang telah dibuat atau disiapkan (Elma, 2016). *Dip-coating* banyak digunakan untuk pembuatan permukaan hibrida hidrofobik pada substrat karena fabrikasinya sederhana, serta konsumsi bahan dan biaya yang rendah (Ha & Nagappan, 2018).

Dip-coating merupakan teknik pencelupan dan penarikan lapisan penyangga berpori dari suspensi yang berupa sol-gel. Ketika lapisan penyangga berpori ditarik dari suspensi, gaya kapiler menyebabkan infiltrasi cairan suspensi ke dalam pori-pori penyangga. Jika partikel cukup besar dibandingkan pori-pori penyangga, maka partikel akan terkonsentrasi di permukaan dan terbentuk lapisan padat. Waktu kontak dan kecepatan penarikan mempengaruhi ketebalan lapisan yang terbentuk yang biasanya 20 – 100 mm. (Drioli & Giorno, 2010)

Yang dkk 2010 melakukan pengulangan *dip-coating* mesh pada sol silika sebanyak 4 kali untuk menghasilkan struktur aerogel yang seragam dengan stabilitas tinggi. Xue dkk 2013 menggunakan tekstil PET (*polyester*) sebagai penyangga yang *didip-coating* pada sol silika sebanyak 2 kali menghasilkan membran dengan daya tahan yang sangat baik. Jumlah pelapisan atau pengulangan proses *dip-coating* dapat mempengaruhi tingkat kestabilan membran silika yang dihasilkan (Apriwaluyo & Andrianto, 2018). Pengulangan *dip-coating* juga dapat meminimalkan cacat membran (Gray dkk, 2019).

Teknik *dip-coating* terdiri dari tiga tahap, yaitu:

- 1) Perendaman dan waktu tinggal

Substrat penyangga direndam dalam larutan prekursor (sol silika) pada kecepatan konstan dan waktu tinggal tertentu supaya substrat dapat terlapisi dengan sempurna. (Elma, 2016)

- 2) Deposisi dan drainase

Substrat ditarik secara vertical ke atas pada kecepatan konstan, sehingga lapisan tipis akan terbentuk dari larutan prekursor. (Elma, 2016)

- 3) Penguapan

Penguapan bertujuan untuk menguapkan pelarut dari cairan hingga membentuk film tipis. Membran yang telah terlapisi akan diberikan perlakuan panas lebih lanjut untuk menghilangkan kandungan organik sisa. Suhu yang digunakan bergantung pada jenis sol yang digunakan. Pada suhu rendah, viskositas sol akan meningkat sehingga proses pembuatan film tipis menjadi lambat. Pada suhu yang lebih tinggi, proses pembuatan film tipis sangat cepat karena pelarut menguap dengan cepat.

(Elma, 2016)

2.3.8 Pendispersi

Dispersi merupakan proses pencampuran komponen heterogen tanpa reaksi yang terjadi. Pendispersi ditambahkan untuk meningkatkan stabilitas dispersi sehingga mencegah terbentuknya gumpalan ketika dua atau lebih komponen heterogen dicampurkan (Babu, 2016). Dispersibilitas silika bervariasi tergantung pada jenis pendispersinya (Andersson & Skogstad, 2019).

Alkohol merupakan salah satu pendispersi yang banyak digunakan. Yang dkk 2010 menggunakan pendispersi ethanol pada pembuatan membran silika hidrofobik dengan hasil sudut kontak tertinggi 159,2°. Rao dkk 2010 berhasil membuat

membran komposit silika hidrofobik dengan sudut kontak 164° menggunakan pendispersi methanol. Xue dkk 2013 dengan pendispersi n-propanol berhasil mensintesis membran silika hidrofobik dengan sudut kontak sebesar 164° . Safitri dkk 2019 melakukan penelitian sintesis membran komposit silika hidrofobik menggunakan pendispersi isopropanol dan menghasilkan membran dengan sudut kontak tertinggi $168,771^\circ$.

2.3.9 Kain Polyester

Polyester merupakan salah satu polimer yang mengandung gugus fungsi ester pada rantai utamanya. *Polyester* yang paling sering digunakan yaitu polietilen tereftalat (PET). Produksi *polyester* sebagai serat digunakan untuk menghasilkan kain *polyester*. (Yamashita & Nakano, 2008)

Tabel 2. 3 Karakteristik Kain Polyester

Karakteristik	Nilai	Satuan	Sumber
<i>Thermal conductivity</i>	$19,3 \pm 0,09$	W/mK	Hassan dkk, 2012
<i>Thermal absorbtivity</i>	$47,5 \pm 2,02$	$\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$	Hassan dkk, 2012
<i>Thermal resistance</i>	$27,74 \pm 0,63$	Km^2/W	Hassan dkk, 2012
Permeabilitas udara	$1670 \pm 13,3$	$\text{l/m}^2/\text{s}$	Hassan dkk, 2012
Tingkat kelembaban	0,2 – 0,8	%	Rohaeti, 2017
Densitas	1,22 – 1,38	g/cm^3	Rohaeti, 2017
Titik leleh	480 - 550	$^\circ\text{F}$	Rohaeti, 2017

Polyester dihasilkan dari reaksi antara etilen glikol dengan asam tereftalat atau etil ester. Kain *polyester* memiliki koefisien elastisitas yang tinggi dan stabilitas dimensi yang baik. Secara alami, serat *polyester* bersifat hidrofob. Selain itu, *polyester* memiliki sifat *chemical resistance* sehingga tahan terhadap asam. (Rohaeti, 2017)

2.4 Karakterisasi Membran

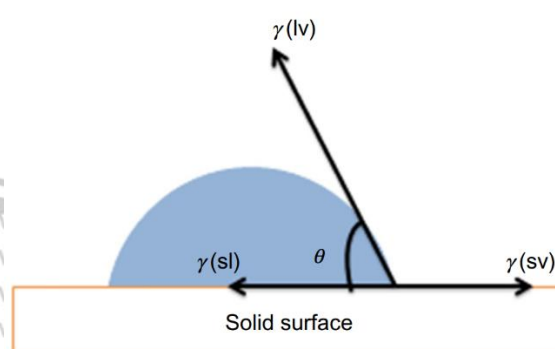
2.6.1 Hidrofobisitas

Hidrofobisitas permukaan membran dianalisa dengan cara mengukur sudut kontak yang merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan padat (membran) dan tetesan cairan (air) dan diukur menggunakan goniometer (Hankins & Singh, 2016). Permukaan membran dianggap hidrofilik jika sudut kontak air $< 90^\circ$ dan dianggap hidrofobik jika sudut kontak air $> 90^\circ$, serta permukaan dengan sudut kontak $> 150^\circ$ disebut superhidrofobik (Kim & Choi, 2018).

Pembasahan permukaan terjadi ketika tetesan air menyebar ke permukaan karena adanya molekul di permukaan yang memiliki afinitas tinggi terhadap air sehingga menghasilkan sudut kontak rendah. Untuk mencegah terjadinya pembasahan permukaan maka sudut kontak statis tetesan air harus tinggi. Peningkatan sudut kontak air membuat tetesan berbentuk bulat sehingga kontak air terhadap permukaan semakin kecil. Sudut kontak air pada suatu permukaan ditentukan oleh persamaan Young,

$$\gamma(sv) - \gamma(sl) - \gamma(lv) \cos \theta = 0 \quad (1)$$

di mana θ adalah sudut kontak, $\gamma(sv)$ energi antarmuka uap-padat, $\gamma(sl)$ energi antarmuka padat-cair, dan $\gamma(lv)$ energi antarmuka uap-cair. Berdasarkan sudut kontak, tingkat keterbasahan dibagi menjadi empat jenis yaitu superhidrofilik ($\theta = 0^\circ$), hidrofilik ($0 < \theta < 90^\circ$), hidrofobik ($90^\circ < \theta < 150^\circ$), dan superhidrofobik ($\theta > 150^\circ$). (Kumar & Nanda, 2019)



Gambar 2. 11 Skema Perhitungan Sudut Kontak Berdasarkan Persamaan Young (Kumar & Nanda, 2019)

2.6.3 Fluks

Kinerja atau efisiensi membran ditentukan oleh dua parameter, selektivitas dan aliran melalui membran (fluks). Fluks didefinisikan sebagai volume yang

mengalir melalui membran per satuan luas dan waktu. meskipun satuan SI direkomendasikan, beberapa satuan lain digunakan dalam literatur untuk menggambarkan fluks. Jika fluks dianggap fluks volume, digunakan satuan berikut: $1 \text{ m}^2 \text{ hr}^{-1}$, $1 \text{ m}^2 \text{ day}^{-1}$, $\text{gal ft}^{-2} \text{ day}^{-2}$ dan $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$. Fluks dapat dinyatakan dengan rumus berikut (Mulder, 1996):

$$J = -A \frac{dX}{dx}$$

Dimana A merupakan koefisien dan (dX/dx) merupakan *driving force*, dinyatakan dengan gradien X (suhu, konsentrasi, tekanan) sepanjang koordinat x tegak lurus dengan *transport barrier* (Mulder, 1996).

Permeabilitas merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi untuk melewati membran. Sifat ini dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran pori, tekanan yang diberikan, serta ketebalan membran. Permeabilitas dinyatakan sebagai suatu besaran fluks dan dilambangkan dengan J, yang didefinisikan sebagai jumlah volume permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam satuan waktu tertentu dengan adanya gaya penggerak berupa tekanan (Pratomo, 2003).

$$J = \frac{V}{A \times t}$$

Dimana J merupakan fluks, v merupakan jumlah volume permeat, A merupakan luas permukaan membran, t merupakan waktu operasi, dan P merupakan tekanan operasi (Pratomo, 2003).

2.6.4 Selektivitas

Selektivitas membran terhadap campuran umumnya dinyatakan dengan salah satu dari dua parameter, retensi (R) atau faktor pemisahan (α). Untuk campuran encer, yang terdiri dari pelarut (biasanya air) dan zat terlarut, akan lebih mudah untuk menyatakan selektivitas dalam hal retensi terhadap zat terlarut. Zat terlarut sebagian atau seluruhnya tertahan sementara molekul pelarut (air) lewat dengan bebas melalui membran. Retensi dapat dinyatakan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$R = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

Dimana C_f adalah konsentrasi zat terlarut yang berada di *feed* dan C_p adalah konsentrasi zat terlarut yang ada di *permeate*. Dikarenakan R tidak berdimensi, maka retensi berpengaruh pada satuan yang menyatakan konsentrasi. Nilai %R bervariasi antara 100% dan 0% (Mulder, 1996).

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam fabrikasi membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik serta aplikasinya dalam pemisahan campuran minyak-air.

Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
1	Xue dkk	2013	Pada penelitian ini dilakukan pelapisan sol silika hidrofobik (0,5%) menggunakan metode <i>dip-coating</i> pada tekstil PET sebanyak 2 kali, hasilnya menunjukkan sudut kontak tertinggi 164°.
2	Liao dkk	2018	Penelitian ini berhasil membuat membran komposit superhidrofobik dari kain <i>polyester</i> sebagai lapisan penyangga dan hybrid mGO/PDMS sebagai lapisan aktif dan proses <i>dip-coating</i> dilakukan 1 kali. Dengan penggunaan rasio massa mGO/PDMS sebesar 0,25, didapatkan hasil sudut kontak tertinggi yaitu 157°. Struktur <i>fiber</i> kain tampak berukuran mikro/nano dan memiliki permukaan yang kasar.
3	Apriwaluyo dkk	2018	Pada penelitian ini dilakukan studi mengenai pengaruh jumlah pengulangan proses <i>dip-coating</i> terhadap kestabilan hidrofobisitas membran komposit silika hidrofobik dengan menggunakan kain katun sebagai lapisan penyangga. Larutan yang digunakan dalam pelapisan terdiri dari komposisi waterglass 2%. Hasil penelitiannya yaitu pengulangan sebanyak 5 kali memiliki kestabilan yang paling tinggi dengan nilai gradien penurunan sudut kontak sebesar 1,673 dan membran yang dihasilkan dengan pengulangan sebanyak 2

kali memiliki sudut kontak tertinggi yaitu $141,62^\circ$.

4 Oktavian dkk 2019

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan membran komposit silika hidrofofik dengan menggunakan kain katun sebagai lapisan penyangga dan memvariasikan jumlah pelapisan sebanyak 1 – 3 kali. Larutan yang digunakan dalam pelapisan terdiri dari komposisi waterglass 10%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah pelapisan sebanyak 1 kali memiliki kestabilan hidrofofisitas tertinggi dengan nilai penurunan sudut kontak sebesar $0,0733^\circ/\text{hari}$, dan membran dengan jumlah pelapisan sebanyak 3 kali memiliki sudut kontak tertinggi yaitu $158,068^\circ$.

5 Poerwadi dkk 2020

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan membran dari kain katun yang telah dilapisi silika hidrofofik. Rasio air dan natrium silikat yang digunakan dalam pembuatan sol silika adalah 19:1. Hasil penelitian menunjukkan sudut kontak paling optimum mencapai $143,86^\circ$ dan terjadi peningkatan sudut kontak pada hari ke-6 menjadi $153,79^\circ$. Metode yang dilakukan dapat digunakan sebagai persiapan pembuatan membran komposit silika yang bersifat superhidrofofik untuk proses pemisahan minyak-air.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Juni 2021. Penelitian terkait fabrikasi dan pengujian meliputi fluks dan selektivitas membran komposit hidrofobik, serta uji kadar air pada hasil pemisahan CPO-air di jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya. Pengukuran sudut kontak membran komposit hidrofobik dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Jurusan Fisika.

3.2 Perancangan Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

- Pengulangan proses *dip-coating*: 1, 2, 3, 4, 5
- Laju alir: 8 ml/menit dan 20 ml/menit

3.2.2 Variabel Terikat

- Sudut kontak air pada membran
- Morfologi membran
- Fluks membran
- Selektivitas membran pada proses pemisahan
- Kadar air hasil pemisahan minyak-air.

3.2.3 Variabel Tetap

- Komposisi gel silika hidrofobik dalam pendispersi: 1,4% (w/w)
- Jenis pendispersi: isopropanol
- Dimensi kain *polyester*: 7 x 5 cm
- Waktu *dip-coating*: 10 menit
- Kecepatan penarikan: 8 cm/menit
- Temperatur dan waktu aging: 90°C selama 30 menit
- Minyak yang digunakan yaitu minyak goreng kelapa sawit merk *Tropical*
- Kadar air dalam *feed* minyak-air: 24% (w/w)

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Terdapat beberapa alat yang digunakan di dalam penelitian ini, alat-alat tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Rangkaian <i>module membran</i>	Proses separasi campuran minyak dan air
2.	<i>Ultrasonic bath</i>	Untuk menghomogenkan campuran larutan
3.	Oven	Untuk proses pengeringan
4.	<i>Goniometer</i>	Untuk mengetahui besar sudut kontak suatu membran silika
5.	Hotplate dan stirrer	Untuk memanaskan dan menghomogenkan campuran TEOS dan sol silika
6.	<i>Beaker Glass</i>	Sebagai wadah
7.	Gelas ukur	Untuk mengukur volume suatu bahan
8.	Pipet	Untuk memindahkan suatu larutan ke wadah lain
9.	Burret	
10.	pH Universal	Untuk menguji pH suatu larutan
11.	Statif dan klem	Untuk
12.	Dinamo	Untuk menggerakkan benang pada penarikan membran
13.	Pompa peristaltik	Untuk memberikan gaya dorong pada proses separasi menggunakan membran
14.	Kontroller	Sebagai pengatur kerja pompa peristaltic
15.	Neraca massa analitik	Untuk mengukur massa bahan
16.	Labu ukur	Sebagai wadah mereaksikan suatu bahan
17.	Erlenmeyer	Sebagai wadah larutan saat proses titrasi
18.	Spatula	Untuk memindahkan suatu bahan padatan
19.	Kaca arloji	Sebagai wadah suatu bahan padatan dalam proses penimbangan
20.	Gelas ukur	Untuk mengukur volume suatu larutan
21.	Rubber bulb	Sebagai penghisap pada pipet agar dapat memindahkan suatu larutan

- | | | |
|-----|------------------|--|
| 22. | Pinset | Untuk memindahkan membran setelah proses pencucian |
| 23. | Termometer | Untuk mengukur suhu |
| 24. | Reflux condensor | Sebagai kondensator n-heksana |

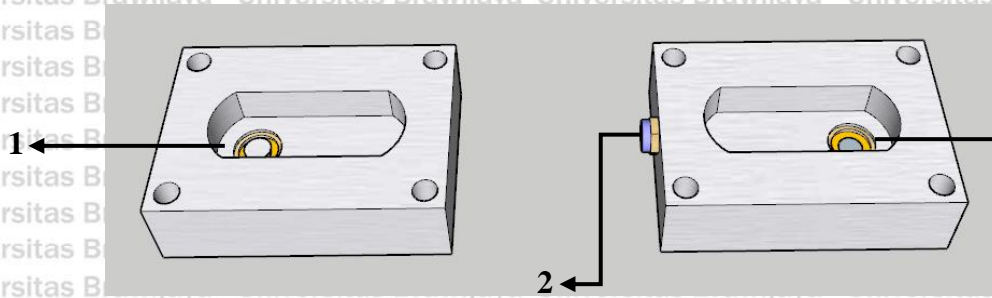
3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan selama penelitian dijelaskan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan

No.	Bahan	Fungsi
1.	Kain <i>polyester</i>	Sebagai lapisan penyangga membran
2.	Minyak kelapa sawit Tropical	Sebagai campuran <i>feed</i>
3.	Natrium silikat (SiO ₂) murni diproduksi Merck Millipore	Sebagai <i>raw material</i> silika hidrofobik
4.	NaOH <i>pro-analysis</i>	Sebagai campuran larutan alkali untuk persiapan kain penyangga
5.	Surfaktan ABS	Sebagai campuran larutan alkali untuk persiapan kain penyangga
6.	Asam asetat 100% diproduksi Merck	Sebagai pengondisi pH 4 pada persiapan sol silika
7.	Tetraethoxysilane (TEOS) 98% diproduksi Aldrich	Sebagai agen pemodifikasi sol silika menjadi hidrofobik
8.	Isopropanol 99% diproduksi Maxil	Sebagai pelarut atau pendispersi silika hidrofobik pada proses <i>dip-coating</i>
9.	n-heksana <i>pro-analysis</i> 99% diproduksi Merck	Sebagai pelarut TEOS
10.	<i>Deionized water</i>	Sebagai pencuci pada persiapan kain penyangga
11.	Akuades	Sebagai campuran <i>feed</i>

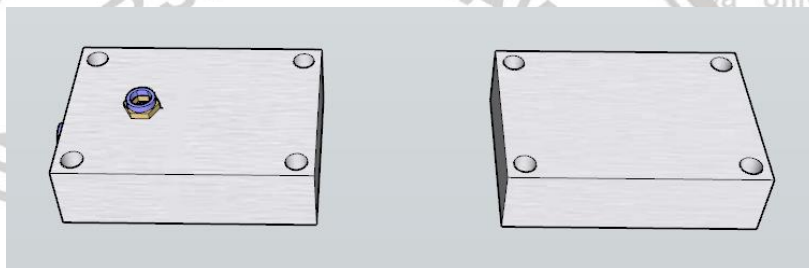
3.3.3 Instrumen Alat



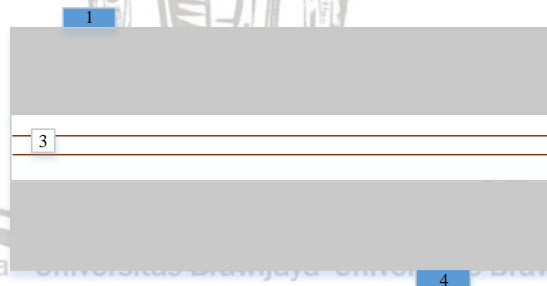
Keterangan:

1. Aliran *Output*
2. Aliran *Retentate*
3. Aliran *Input*

Gambar 3. 1 Modul Membran Tampak Atas



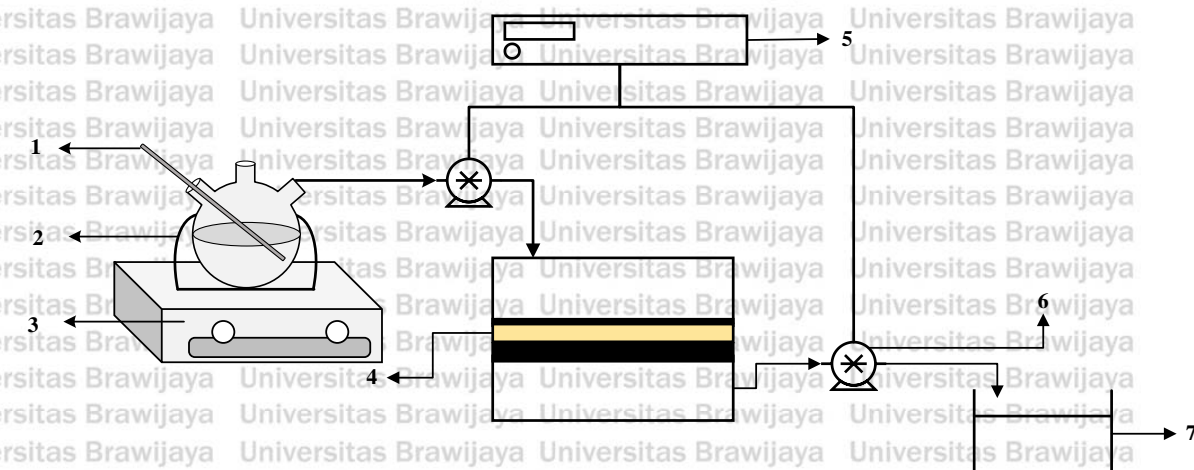
Gambar 3. 2 Modul Membran Tampak Bawah



Keterangan:

1. Aliran *feed*
2. Aliran *retentat*
3. Membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik (3 lapis)
4. Aliran *permeat*

Gambar 3. 3 Modul Membran Tampak Samping



Keterangan:

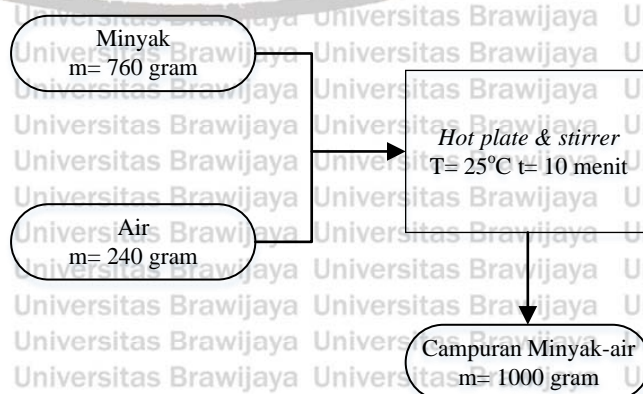
1. *Thermometer*
2. *Heating Mantle*
3. *Hotplate dan Magnetic Stirrer*
4. Modul Membran *Polyester* Termodifikasi Silika Hidrofobik
5. *RPM Controller*
6. Pompa Peristaltik
7. Tangki Permeat

Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Alat

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan *Feed* Minyak-Air

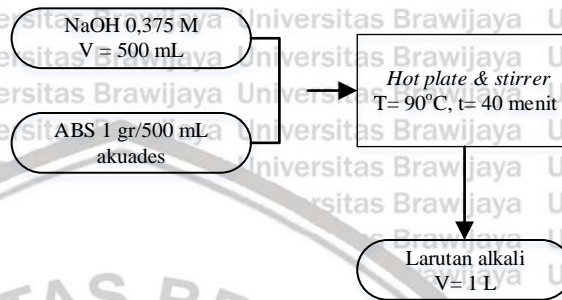
Pada proses pemisahan digunakan *feed* minyak-air sebagai pengganti CPO. Kandungan air pada campuran minyak-air yaitu 24% (w/w) (Corley dkk, 2016), komposisi tersebut disesuaikan seperti kondisi di industri. Homogenisasi menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit (Wang dan Geng, 2016). Campuran yang sudah terhomogenisasi akan dijadikan *feed* untuk proses pemisahan minyak-air menggunakan membran *polyester* termodifikasi silika hidrofofik.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Persiapan *Feed*

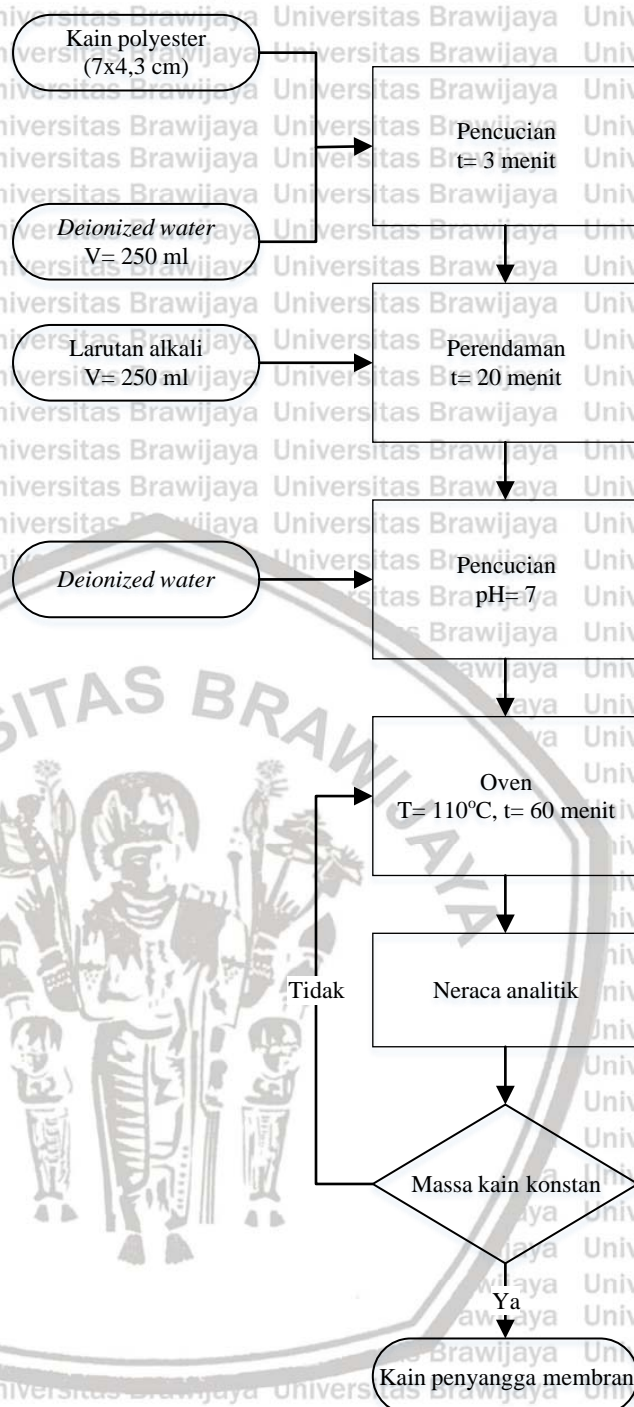
3.4.2 Persiapan Kain Polyester Sebagai Penyangga

Kain *polyester* dicuci menggunakan larutan alkali yang merupakan campuran antara NaOH dengan ABS (Alkyl Benzene Sulfonate). Larutan NaOH dengan konsentrasi 0,375 M dibuat melarutkan 7,5 gram NaOH dalam 500 ml akuades. Larutan ABS dibuat dengan melarutkan ABS 1 gram ke dalam 500 ml akuades. Larutan NaOH dan ABS dicampur dengan pemanasan pada suhu 90°C selama 40 menit dan didapatkan larutan alkali (Xue dkk, 2013).



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pembuatan Larutan Alkali

Kain *polyester* direndam dalam larutan alkali selama 20 menit (Montazer & Sadighi, 2005). Sebelum perendaman, kain dicuci menggunakan *deionized water* sebagai perlakuan awal menghilangkan pengotor yang menempel pada kain. Setelah perendaman, kain dibilas dengan *deionized water* hingga pH 7 dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 1 jam (Xue dkk, 2013).



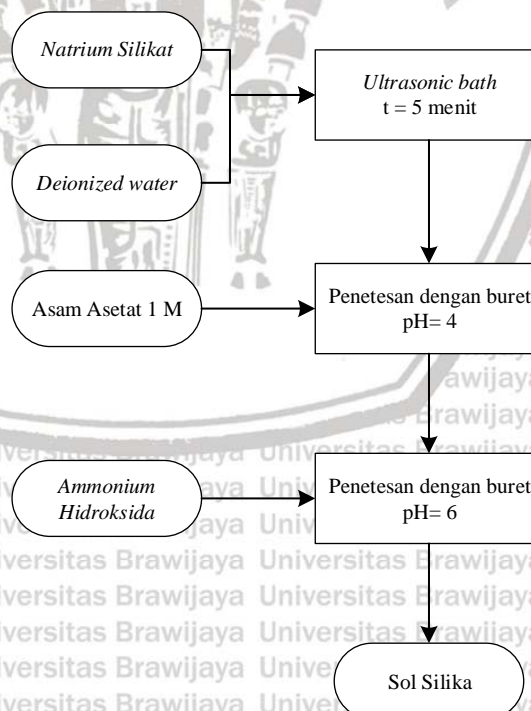
Gambar 3. 7 Diagram Alir Persiapan Kain Penyangga

3.4.3 Preparasi Sol Silika Hidrofilik

Tahapan preparasi sol silika hidrofilik dilakukan untuk membuat sol silika yang masih bersifat hidrofilik. Sol silika yang dibuat dalam penelitian ini berasal dari natrium silikat. Natrium silikat tersebut dicampurkan dengan *deionized water* sebagai sumber H_2O . Rasio pencampuran antara natrium silikat dan *deionized water* yaitu sebesar 1:18 (Imansari dan

Mahardana, 2018). Perbandingan tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Imansari dan Mahardana (2018), bahwa dengan rasio komposisi Natrium Silikat dan H_2O tersebut dapat menghasilkan nilai sudut kontak terbesar. Kemudian kedua bahan tersebut dihomogenkan menggunakan *ultrasonic bath* selama 5 menit didapatkan larutan dengan pH awal 13. Selanjutnya dilakukan persiapan larutan asam asetat dengan konsentrasi 1 M dengan cara mengencerkan asam asetat (glasial) yang memiliki kemurnian 100% dengan *deionized water* (Oktavian, 2019). Pengenceran dilakukan dengan mencampurkan 5,73 mL asam asetat dan 100 mL akuades. Selanjutnya dilakukan penetesan larutan asam asetat pada larutan natrium silikat secara perlahan menggunakan buret hingga pH larutan mencapai 4 (Oktavian, 2019). Larutan tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* untuk mendapatkan larutan yang homogen (Poerwadi dkk, 2020).

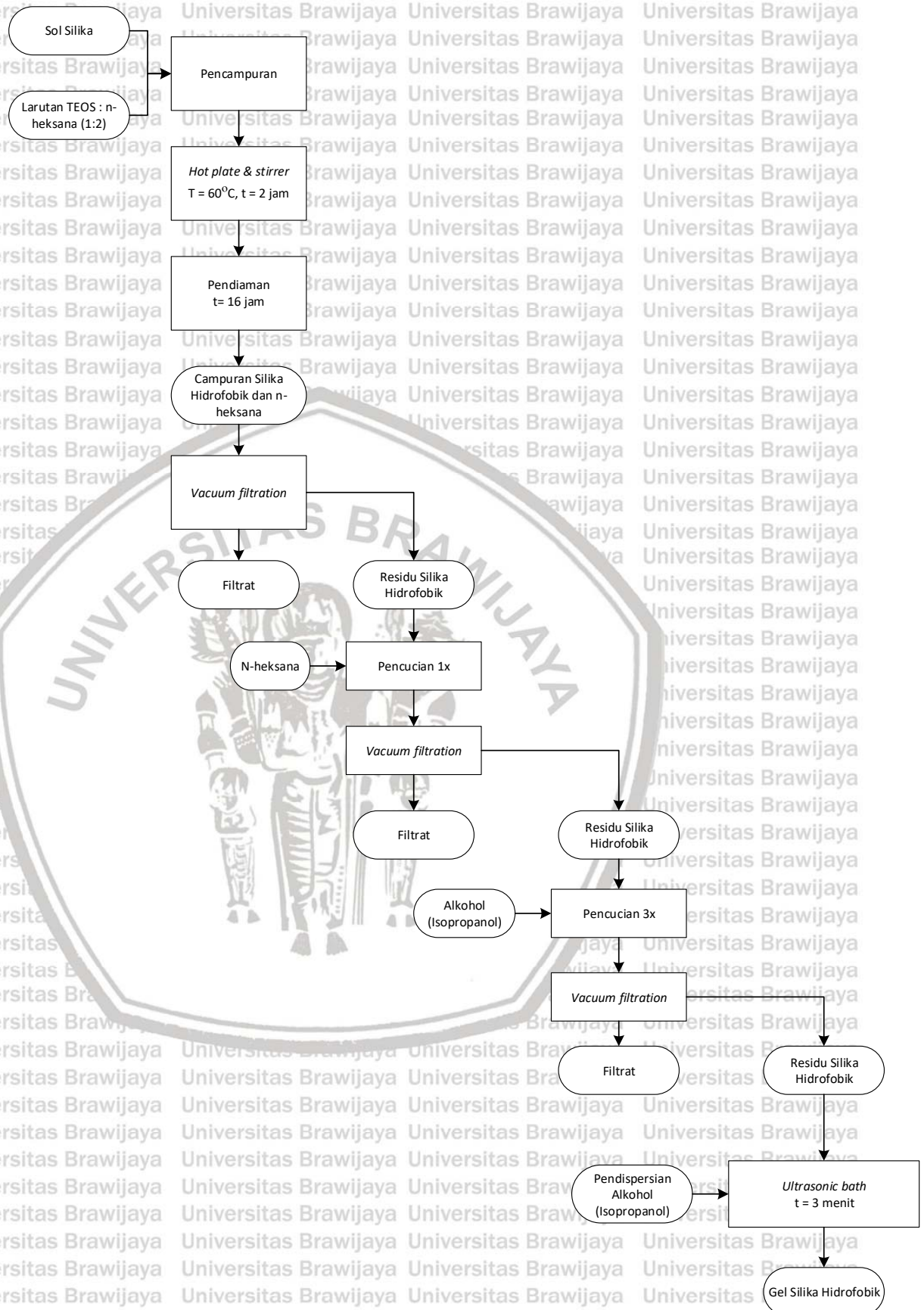
Prosedur selanjutnya yaitu menyiapkan larutan ammonium hidroksida 0.4 M dengan mencampurkan 5 mL ammonium hidroksida grade pro analis (kemurnian 32%) dengan *deionized water* hingga volume larutan mencapai 100 mL (Imansari dan Mahardana, 2018). Selanjutnya dilakukan penetesan larutan ammonium hidroksida pada larutan natrium silikat menggunakan buret hingga pH larutan mencapai 6 (Widiamara dan Gunawan, 2017). Tahapan tersebut sesuai diagram alir pada gambar 3.4 berikut:



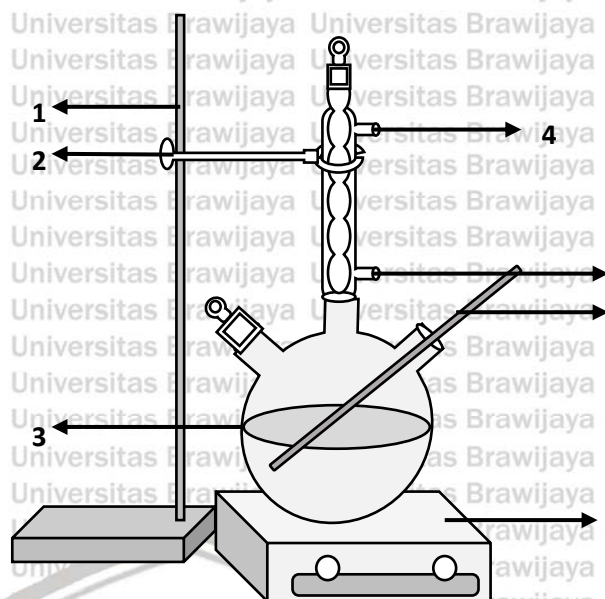
Gambar 3. 8 Diagram Alir Preparasi Sol Silika Hidrofilik

3.4.4 Preparasi Gel Silika Hidrofobik

Tahapan preparasi silika hidrofobik dilakukan untuk mengubah sifat silika hidrofilik menjadi silika hidrofobik. Pembuatan silika hidrofobik ini dibuat dengan proses sililasi menggunakan larutan TEOS sebagai agen pemodifikasi sol silika. Sebelumnya, larutan TEOS dan n-heksana dicampurkan terlebih dahulu dengan perbandingan 1:2 (v/v) (Widiamara dkk, 2017). Pencampuran dengan n-heksana berfungsi untuk melarutkan TEOS, dikarenakan TEOS tidak dapat larut dalam air. Kemudian dilakukan pencampuran antara sol silika hidrofilik dan campuran TEOS:n-heksana dengan perbandingan 1:2 (v/v). Selanjutnya dilakukan proses sililasi dengan cara pemanasan dan pengadukan pada suhu 60°C selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm (Suprana dkk, 2015). Kemudian dilakukan proses pendiaman larutan natrium silikat selama 16 jam pada suhu ruang agar gel silika hidrofobik telah terbentuk secara sempurna. Pada akhir proses sililasi akan dihasilkan campuran yang terdiri dari silika hidrofobik dan n-heksana. Kemudian campuran tersebut disaring menggunakan *vacuum filtration* dan gel silika hidrofobik (cake) dicuci dengan n-heksana dan alkohol (isopropanol). Proses pencucian menggunakan n-heksana dilakukan sebanyak 1 kali, yang berfungsi untuk melarutkan sisa TEOS yang masih belum larut pada proses sebelumnya. Sedangkan pencucian menggunakan alkohol (isopropanol) dilakukan sebanyak 3 kali, yang berfungsi untuk meningkatkan luas permukaan pori gel silika hidrofobik serta menghilangkan kandungan H₂O dan Na⁺ yang masih terbentuk pada proses sililasi. Tahapan selanjutnya yaitu dilakukan pendispersian antara silika hidrofobik dan alkohol (isopropanol) dengan perbandingan 1:1 (w/w) menggunakan proses ultrasonifikasi selama 3 menit. Proses pendispersian tersebut bertujuan untuk mencegah aglomerasi sehingga mempermudah penyebaran Si-CH₃ sehingga pada saat pendispersian pada kain penyangga (*polyester*) akan lebih mudah. Tahapan prosedur untuk preparasi gel silika hidrofobik sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.5.



Gambar 3. 9 Diagram Alir Preparasi Gel Silika Hidrofobik



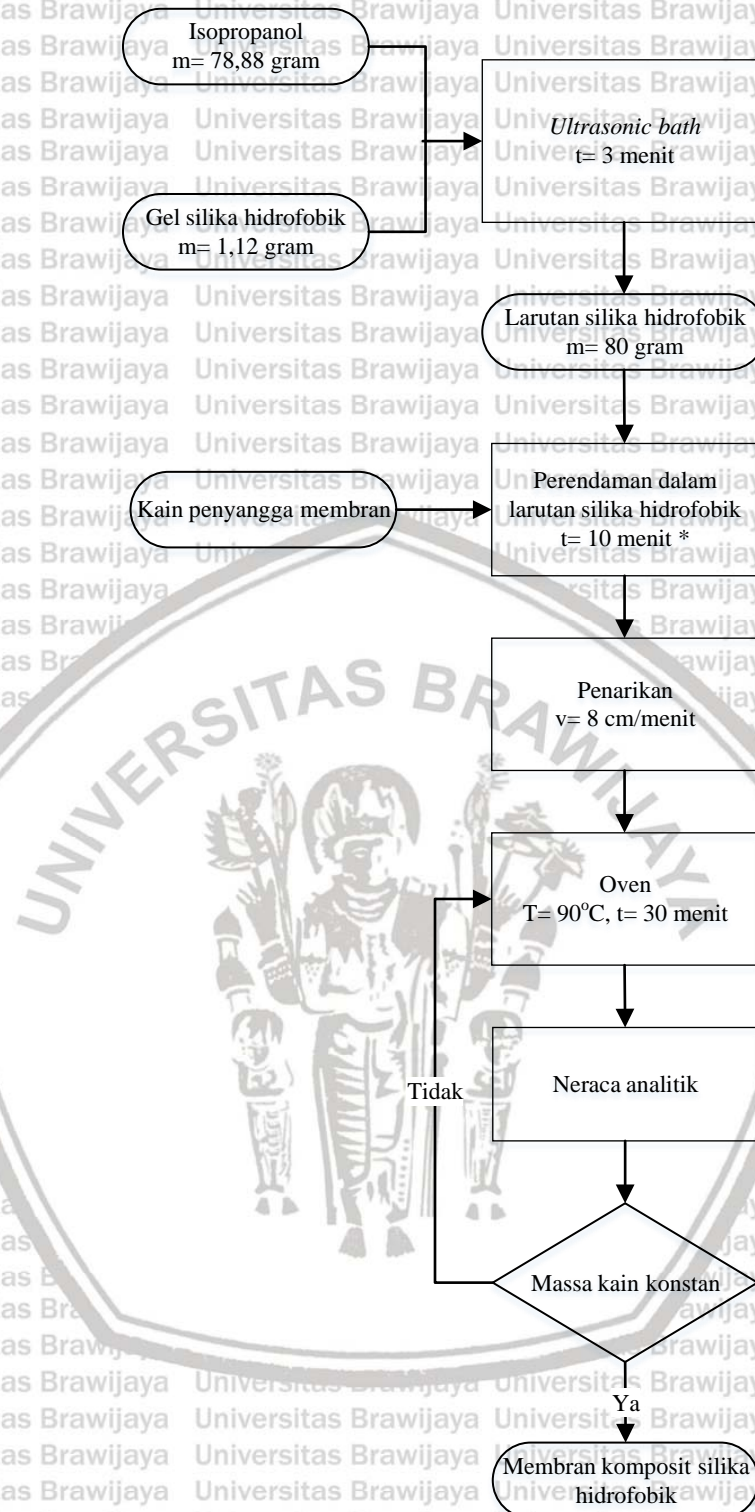
Keterangan:

1. Statif
2. Klem
3. Labu tiga leher
4. Aliran keluar air pendingin
5. Aliran masuk air pendingin
6. *Thermometer*
7. *Hotplate dan magnetic stirrer*

Gambar 3. 10 Skema Alat Pembuatan Gel Silika Hidrofobik

3.4.5 Proses *Dip-Coating* Kain *Polyester* pada Silika Hidrofobik

Proses *dip-coating* dilakukan dengan merendam kain *polyester* ke dalam larutan silika untuk menghasilkan lapisan tipis silika di bagian permukaan kain. Larutan silika dibuat dengan mendispersikan gel silika 1,4% (w/w) ke dalam pendispersi isopropanol. Pendispersian gel silika hidrofobik dalam isopropanol menggunakan *ultrasonic bath* selama 3 menit untuk menghasilkan larutan silika hidrofobik. Kain *polyester* yang telah mendapatkan perlakuan sebelumnya, direndam dalam larutan silika hidrofobik selama 10 menit (Song dkk, 2016). Penarikan kain dari larutan dilakukan dengan kecepatan 8 cm/menit (Poerwadi dkk, 2020). Kain yang sudah terlapisi silika hidrofobik kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 90°C selama 30 menit untuk menguapkan pendispersi isopropanol.



Keterangan:

*Proses *dip-coating* diulang 1-5 kali

Gambar 3. 11 Diagram Alir Proses *Dip-Coating*

3.5 Karakterisasi Membran Polyester Termodifikasi Silika Hidrofobik

3.5.1 Karakterisasi Membran Polyester Termodifikasi Silika Hidrofobik

3.5.1.1 Uji Sudut Kontak

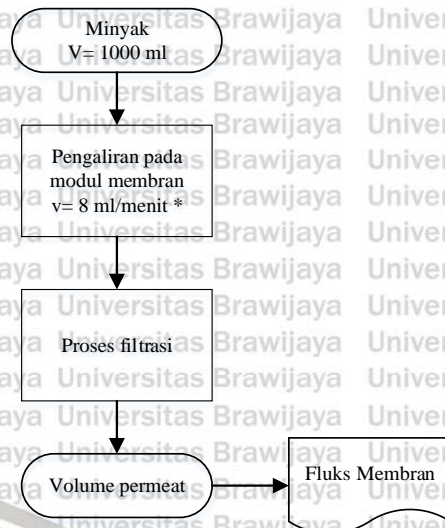
Pengujian sudut kontak membran digunakan untuk mengetahui tingkat hidrofobisitas membran serta untuk meninjau perubahan hidrofobisitasnya setiap hari. Pengukuran sudut kontak dilakukan setiap hari hingga nilai sudut kontak berubah menjadi $>5\%$ (atau hingga 10 hari). Pengukuran sudut kontak dapat dilakukan dengan meneteskan $5\ \mu\text{l}$ air menggunakan mikropipet ke atas permukaan membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik yang telah diletakkan di atas permukaan goniometer. Kemudian dilakukan pengambilan gambar dan pengukuran sudut kontak menggunakan aplikasi pada alat goniometer dengan ketelitian $\pm 0,001^\circ$.

3.5.1.2 Uji Fluks Membran

Analisa fluks membran dilakukan untuk mengetahui performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik. Analisa tersebut dilakukan dengan mengalirkan *feed* berupa minyak murni pada modul membran. Sebelumnya, dilakukan kalibrasi laju alir 8 ml/menit. Setelah laju alir sesuai, maka minyak dialirkan pada modul membran. Selanjutnya, volume permeat diukur tiap interval 2 menit dengan total waktu uji selama 60 menit (dilakukan pengulangan untuk variabel laju alir 20 ml/menit). Fluks membran dapat dihitung dengan persamaan (1). Diagram alir pengujian fluks minyak pada membran ditunjukkan pada gambar 3.5.

$$J = \frac{v}{A \times t} \quad (1)$$

Dimana J merupakan fluks, v merupakan jumlah volume permeat, A merupakan luas permukaan membran, dan t merupakan waktu operasi (Pratomo, 2003). Perhitungan fluks pada membran tidak dipengaruhi oleh *solute* (Geancoplis, 1993).



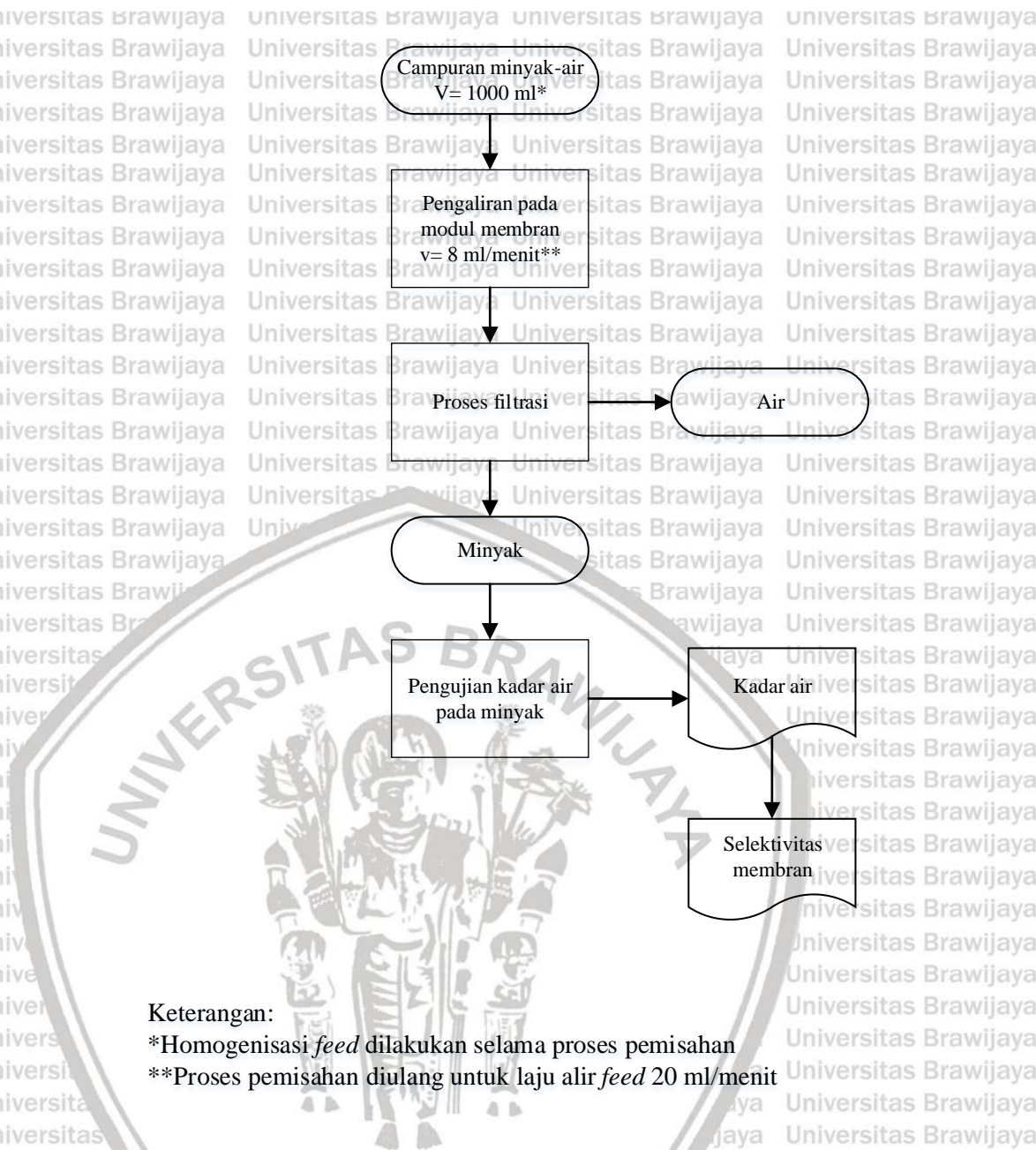
Keterangan:

*Proses pemisahan diulang untuk laju alir *feed* 20 ml/menit

Gambar 3. 12 Diagram Alir Uji Fluks Membran

3.5.1.3 Uji Selektivitas Membran

Pengujian selektivitas membran dilakukan dengan cara memisahkan air dari campuran minyak-air menggunakan membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik. Campuran mengandung 24% (w/w) air dan dihomogenisasi menggunakan *magnetic stirrer* selama proses filtrasi sehingga minyak air tidak terpisah akibat perbedaan densitas. *Feed* berupa campuran minyak-air dialirkan pada modul membran dengan laju alir divariasikan yaitu 8 ml/menit dan 20 ml/menit. Pada modul membran terjadi proses pemisahan antara minyak dan air, pada permeat atau yang kaya dengan minyak dilakukan pengujian kadar air sesuai dengan SNI 01-29012006 untuk mendapatkan kadar air dalam permeat sehingga didapatkan data selektivitas membran.



Gambar 3. 13 Diagram Alir Proses Pemisahan Minyak-Air Menggunakan Membran *Polyester* Termodifikasi Silika Hidrofobik

Parameter yang digunakan untuk mengetahui selektivitas membran yaitu koefisien rejeksi (R) yang mana merupakan fraksi konsentrasi zat terlarut pada permeat terhadap konsentrasi zat terlarut pada umpan. Nilai R dihitung menggunakan rumus persamaan (4) dan nilainya akan berada diantara 0 sampai 1. Jika $R = 1$ maka air dapat ditahan oleh membran secara sempurna (Notodarmojo dkk, 2004).

3.5.2 Uji Produk

3.5.2.1 Uji Kadar Air

Uji kadar air dilakukan setelah proses pemisahan pada modul membran selesai. Kemudian pada bagian permeat (bagian kaya dengan minyak) dilakukan pengujian kadar

air. Menurut standar mutu CPO (SNI 01-2901-2006), standar mutu yang dipersyaratkan adalah kandungan untuk Asam Lemak Bebas (ALB) memiliki nilai ambang batas maksimum 5%, kadar kotoran maksimum 0,5%, dan kadar air maksimum 0,5%.

Berdasarkan diagram alir yang ada pada gambar 3.6, maka tahapan dalam pengujian kadar air diawali dengan penimbangan wadah terlebih dahulu (W). Kemudian dilakukan penambahan permeate (dari hasil separasi membran) ke dalam wadah (W1). Selanjutnya, wadah berisi permeate dipanaskan pada suhu 130°C selama 30 menit di dalam oven. Setelah itu sampel (W1) dimasukkan pada desikator selama 15 menit dan ditimbang kembali hingga mencapai massa konstan (W2). Dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat akhir minyak goreng dan *beaker glass*. Prosedur diulangi hingga selisih perubahan berat akhir minyak dan beaker glass tidak melebihi 0,02%. Kadar air dihitung dengan persamaan berikut. Kadar air dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (2).

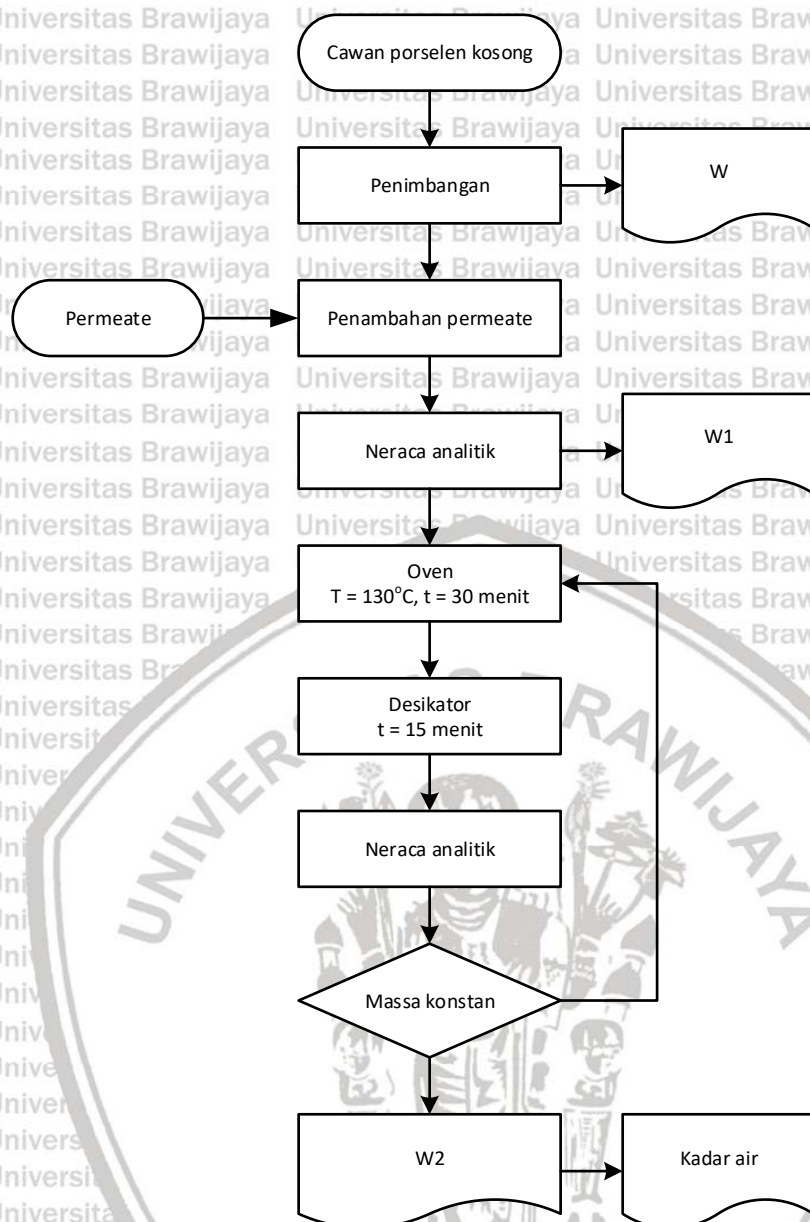
$$\% \text{ Kadar Air} = \frac{(W1-W)-(W2-W)}{W1-W} \quad (2)$$

Dimana:

W = Massa wadah (g)

W1 = Massa wadah + permeate sebelum pemanasan (g)

W2 = Massa wadah + permeate setelah pemanasan (g)



Keterangan:

Pengujian kadar air dilakukan untuk variabel 8 ml/menit dan 20 ml/menit

Gambar 3 14 Diagram Alir Proses Pengujian Kadar Air



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Jumlah Pelapisan pada Membran *Polyester* Termodifikasi Silika

Hidrofobik terhadap Besaran Nilai dan Kestabilan Sudut Kontak

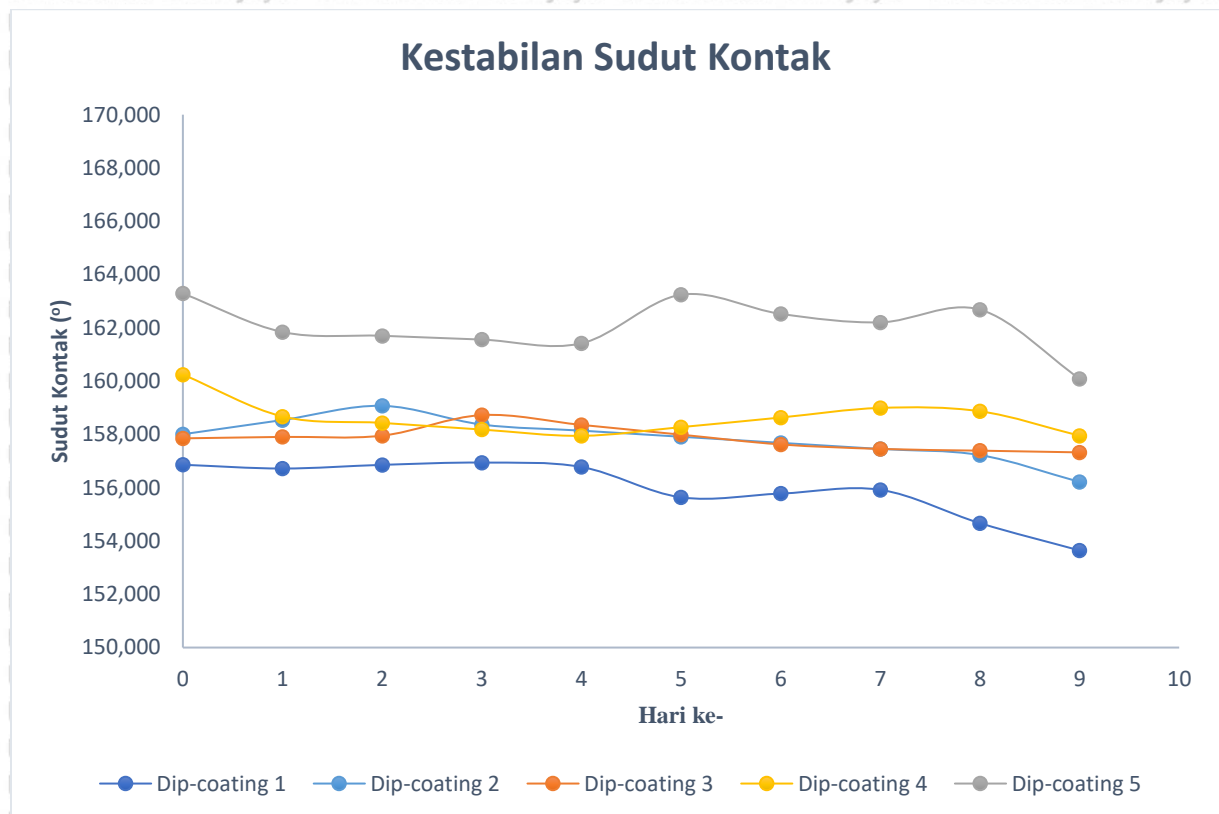
Pada penelitian ini, menggunakan membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik.

Pendispersi yang digunakan yaitu isopropanol, pendispersi isopropanol memiliki gugus alkil (CH_3) lebih banyak dan tegangan permukaan yang rendah sehingga diharapkan dapat meningkatkan nilai sudut kontak membran terhadap air. Permukaan suatu membran dikatakan hidrofobik jika sudut kontak air $> 90^\circ$, dan dikatakan superhidrofobik jika sudut kontak air $> 150^\circ$ (Kim & Choi, 2018). Salah satu penentu utama dalam peningkatan hidrofobisitas dan kestabilannya yaitu adanya gugus alkil bersifat nonpolar pada permukaan bahan dan berperan dalam interaksi permukaan bahan dengan air (Aegerter dkk, 2011). Air yang bersifat polar akan tertolak ketika berkontak dengan permukaan hidrofobik karena adanya perbedaan polaritas (Apriwaluyo & Andrianto, 2018). Jumlah pelapisan divariasikan sebanyak 1-5 kali untuk meninjau pengaruhnya terhadap hidrofobisitas membran dan untuk mengetahui kestabilan sudut kontak pada membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik. Kestabilan sudut kontak ditinjau selama 10 hari menggunakan alat goniometer. Data hasil uji kestabilan sudut kontak ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil uji kestabilan sudut kontak

Hari ke-	Jumlah pelapisan				
	1	2	3	4	5
0	156,860	158,006	157,851	160,246	163,289
1	156,719	158,539	157,906	158,673	161,843
2	156,857	159,073	157,952	158,431	161,701
3	156,941	158,370	158,725	158,182	161,559
4	156,777	158,141	158,357	157,946	161,417
5	155,638	157,912	157,990	158,273	163,241
6	155,779	157,682	157,623	158,633	162,523
7	155,920	157,453	157,455	158,994	162,205
8	154,669	157,224	157,390	158,868	162,681
9	153,645	156,216	157,325	157,950	160,091

Berdasarkan tabel 4.1, jumlah pelapisan 1-5 kali menghasilkan sudut kontak bersifat superhidrofobik dengan nilai di atas 150° . Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan TEOS pada sililasi mampu meningkatkan hidrofobisitas silika pada permukaan kain *polyester*. TEOS merupakan agen sililasi tetra-fungsional yang mana silika terikat pada 4 gugus alkil ($-C_2H_5$) sehingga lebih stabil dan kuat (Poerwadi dkk, 2020). Diantara 5 variabel tersebut, membran dengan jumlah pelapisan sebanyak 5 kali memiliki sudut kontak tertinggi yaitu $163,289^\circ$, sedangkan membran dengan pelapisan sebanyak 1 kali memiliki sudut kontak terendah yaitu $156,860^\circ$.



Gambar 4. 1 Kestabilan Sudut Kontak Membran *Polyester*

Tabel 4. 2 Data Slope Kestabilan Sudut Kontak Membran *Polyester*

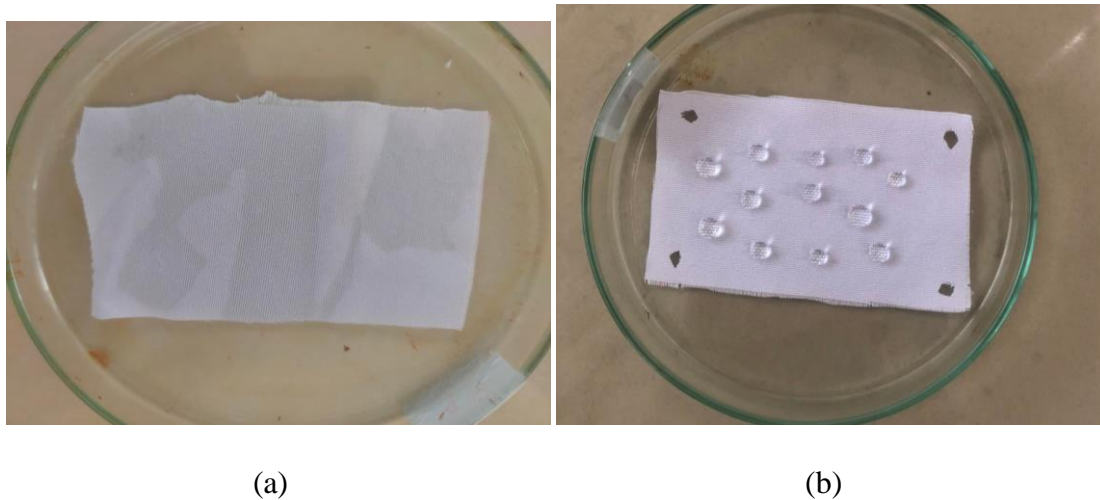
Jumlah Pelapisan	Slope
1	-0,3188
2	-0,2164
3	-0,0880
4	-0,0897
5	-0,0950

Berdasarkan pada gambar 4.1, kestabilan sudut kontak *dip-coating* 1-5 kali mengalami perubahan setiap harinya. Dan tabel 4.2 menunjukkan kemiringan (*slope*) penurunan sudut kontak dari setiap variabel jumlah pelapisan. Berdasarkan tabel 4.2, penurunan sudut kontak semakin kecil dari *dip-coating* 1 sampai 3, namun *slope* meningkat kembali pada *dip-coating* 4 sampai 5. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pengulangan proses *dip-coating* pada fabrikasi membran *polyester* dapat meningkatkan kestabilan hidrofobisitas, namun batas maksimum jumlah pelapisan hanya sebanyak 3 kali untuk menghasilkan membran dengan penurunan sudut kontak terendah. *Dip-coating* sebanyak 3 kali memiliki kestabilan hidrofobisitas paling tinggi dengan penurunan sudut kontak sebesar $0,0880^{\circ}/\text{hari}$ dan sudut kontak $157,851^{\circ}$, sedangkan *dip-coating* sebanyak 1 kali memiliki kestabilan hidrofobisitas terendah dengan penurunan sudut kontak sebesar $0,3188^{\circ}/\text{hari}$. Menurut Wagh dkk (2015) penurunan sudut kontak membran disebabkan oleh reaksi hidrolisis molekul air yang terkandung dalam udara. Gugus hidroksil pada membran yang belum sempurna terkonversi saat proses sililasi dapat mengikat air pada udara yang mana air tersebut dapat menghidrolisis gugus alkil pada membran (Aegerter dkk, 2011).

Sifat hidrofobisitas dipengaruhi oleh 2 faktor utama yaitu gugus alkil bersifat nonpolar pada permukaan membran dan struktur permukaan yang kasar (Yang dkk, 2010). Gugus alkil pada permukaan membran dihasilkan dari proses sililasi menggunakan TEOS yang terdiri dari 4 gugus alkil berupa gugus etil ($-C_2H_5$). Gugus alkil pada TEOS bereaksi dengan gugus hidroksil ($-OH$) pada silika sehingga permukaan silika akan bersifat nonpolar atau hidrofobik (Aegerter dkk, 2011). Dominasi gugus alkil pada permukaan silika dapat ditingkatkan dengan pengulangan proses *dip-coating*, hal ini sesuai dengan pernyataan Yang dkk (2010) bahwa pengulangan *dip-coating* mampu mempertebal lapisan aerogel. Penumpukan partikel silika dapat terjadi jika jumlah pelapisan semakin tinggi, sehingga hidrofobisitas akan semakin tinggi akibat gugus alkil yang semakin banyak. Selain itu, penumpukan partikel silika dapat meningkatkan kekasaran permukaan membran.

Meskipun jumlah pelapisan dapat meningkatkan hidrofobisitas membran, namun kestabilan membran tidak selalu meningkat dengan bertambahnya jumlah pelapisan. Hal tersebut terjadi karena pada pengulangan *dip-coating* partikel silika tidak berikatan dengan gugus hidroksil pada kain, melainkan berikatan dengan partikel silika lainnya sehingga distribusi partikel silika tidak merata. Seperti yang terlihat pada gambar 4.1 dan tabel 4.2, meskipun *dip-coating* 5 memiliki hidrofobisitas tertinggi, namun kestabilannya lebih rendah dibanding *dip-coating* 3. Penumpukan dan ketidakseragaman partikel silika pada permukaan membran mengakibatkan

jumlah gugus hidroksil pada membran meningkat. Gugus hidroksil tersebut akan cenderung menyerap air pada udara, penguapan air dapat meruntuhkan struktur dari silika (Aegerter dkk, 2011). Selain itu, air yang terserap dapat mengubah gugus alkil menjadi gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik (Wagh dkk, 2015).



Gambar 4. 2 Perbedaan kain *polyester* (a) sebelum dan (b) sesudah *dip-coating*

Gambar 4.2 menunjukkan adanya perbedaan saat sebelum dan sesudah kain *polyester* terlapisi silika hidrofobik. Pada gambar 4.2a kain *polyester* basah saat air diteteskan ke permukaan kain, sedangkan gambar 4.2b menunjukkan permukaan kain dapat menolak air sehingga air tidak membasahi kain. Membran *polyester* dengan jumlah pelapisan sebanyak 1, 3 dan 5 kali akan digunakan pada proses mikrofiltrasi untuk uji performa membran bertujuan mengetahui pengaruh tingkat hidrofobisitas dan kestabilan terhadap performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik.

4.2 Uji Performa Membran

4.2.1 Uji Fluks Membran

Pada penelitian ini, dilakukan uji performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dalam pemisahan minyak-air, salah satunya dengan menggunakan pengujian fluks. Fluks didefinisikan sebagai volume permeat yang mengalir melalui membran per satuan luas dan waktu (Mulder, 1996). Fluks dapat digambarkan dalam persamaan berikut:

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (4.1)$$

Dimana J merupakan fluks, v merupakan jumlah volume permeat, A merupakan luas permukaan membran, t merupakan waktu operasi, dan P merupakan tekanan operasi (Pratomo, 2003).

Pengujian fluks dilakukan dengan menggunakan dua lapis membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dengan luasan membran sebesar $32,43 \text{ cm}^2$ pada suhu ruang selama 1 jam. Pengujian dilakukan dengan menggunakan minyak merk “Tropical” sebagai pengganti CPO dengan laju alir *feed* sebesar 8 ml/menit dan 20 ml/menit. Pengaturan laju alir dilakukan dengan menggunakan *pump controller* yang diatur sebelum melakukan pengujian. Setelah terkalibrasi dengan baik, maka *feed* yang berupa minyak murni akan dialirkan ke modul membran.

Proses pengujian fluks dilakukan dengan menggunakan membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dengan nilai sudut kontak tertinggi, terstabil, serta membran dengan nilai sudut kontak terendah. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh tingkat hidrofobisitas suatu membran terhadap performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dalam melakukan pemisahan campuran minyak-air. Pengujian fluks dilakukan dengan mengalirkan minyak murni. Metode perhitungan dilakukan dengan cara mencari kemiringan (*slope*) garis pada grafik hubungan antara volume permeat dan waktu pemisahan. Persamaan umum garis lurus dapat digambarkan sebagai berikut:

$$y = mx \quad (4.2)$$

Dimana m merupakan kemiringan (*slope*) garis lurus, sedangkan x merupakan besaran variabel pada sumbu x . Persamaan (4.1) dapat diubah ke dalam bentuk lain sehingga dapat menyerupai persamaan umum garis lurus, seperti sebagai berikut:

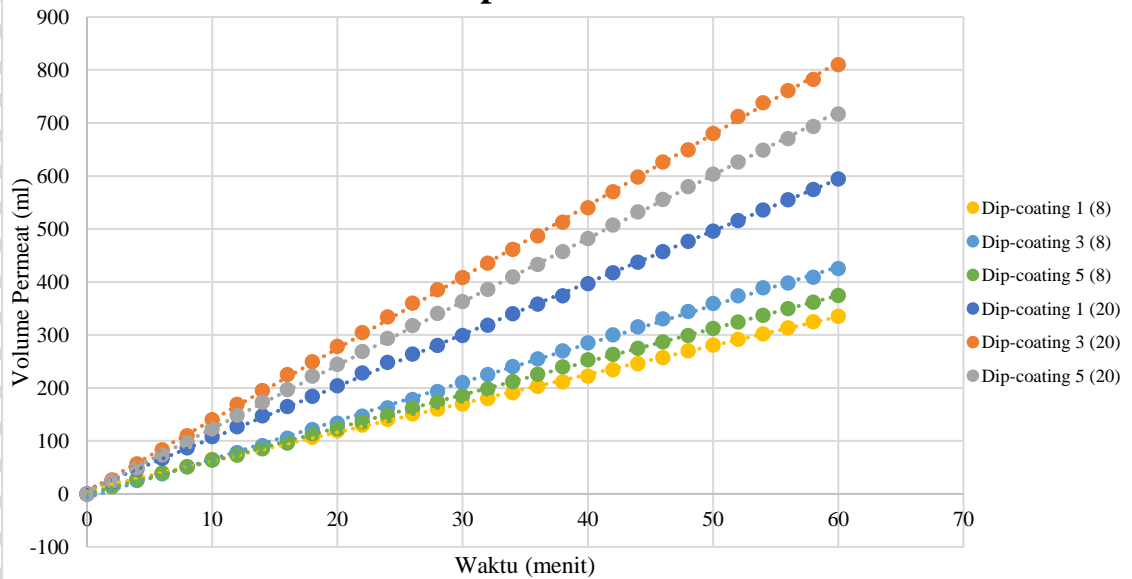
$$V = (J \times A) \times t \quad (4.2)$$

$$m = J \times A \quad (4.3)$$

$$J = \frac{m}{A} \quad (4.4)$$

Adapun hasil salah satu uji performa membran dengan pengujian fluks pada *dip-coating* 1, 3, dan 5 pada aliran *feed* 8 ml/menit dan 20 ml/menit ditunjukkan pada gambar 4.2.

Volume permeat vs waktu



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Volume Permeat Uji Fluks Membran Terhadap Waktu

Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara jumlah volume permeat terhadap waktu dalam uji fluks membran setiap variabel waktu. Garis yang terdapat pada kedua grafik telah dilakukan pendekatan menggunakan *trendline* sehingga didapatkan persamaan garis lurus dalam bentuk:

$$y = mx + c \quad (4.5)$$

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan volume permeat terhadap waktu pada membran dengan *dip-coating* 1, 3, dan 5. Kemiringan dari persamaan garis lurus tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai fluks berdasarkan persamaan 4.5. Persamaan garis lurus dari pendekatan *trendline* serta fluks dari masing-masing perlakuan ditabulasikan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Fluks Membran *Polyester* Termodifikasi Silika Hidrofobik Terhadap Jumlah Pelapisan dan Laju Alir *Feed*

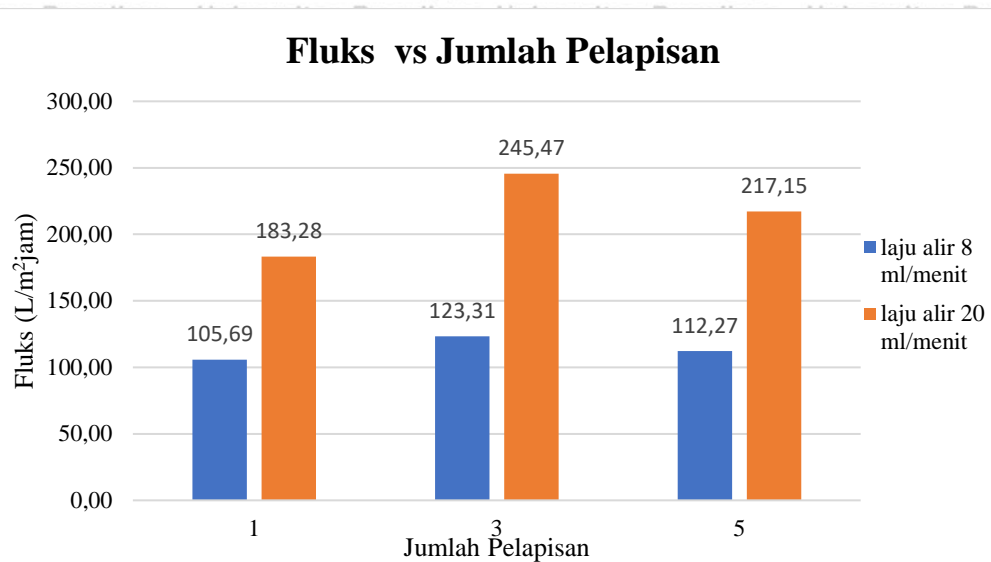
Jumlah Pelapisan	Laju Alir (ml/menit)	Persamaan Garis Lurus	R ²	Fluks (L/m ² jam)
1	8	$y = 5,4746x + 13,469$	0,9988	114,04
	20	$y = 9,7728x + 7,5746$	0,9998	183,28
3	8	$y = 7,2572x - 7,1069$	0,9993	123,31
	20	$y = 13,492x + 4,5042$	0,9998	245,47
5	8	$y = 6,2442x - 0,2103$	0,9998	112,27
	20	$y = 11,963x + 3,5637$	0,9999	217,15

Pada proses membran, tekanan transmembran pada proses mikrofiltrasi berfungsi sebagai *driving force*. Tekanan transmembran secara langsung dapat mempengaruhi besarnya fluks permeat dan sering digunakan untuk mengendalikan laju alir umpan (Lindijk, 2004; Kumar dkk, 2004). Sehingga secara tidak langsung dapat dikatakan bahwa pengaruh tekanan transmembran pada proses membran sama dengan pengaruh laju alir *feed* membran. Berdasarkan hukum Darcy yang menyatakan bahwa kenaikan fluks permeat akan sebanding dengan tekanan transmembran yang digunakan (Uju, 2008).

$$J = \Delta P \quad (4.5)$$

Hal tersebut sesuai dengan data pada Tabel 4.3 yang menunjukkan bahwa nilai fluks akan semakin meningkat seiring meningkatnya laju alir *feed*. Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa nilai fluks tertinggi terdapat membran dengan jumlah pelapisan 3 dengan laju alir 20 ml/menit (245,47 L/m²jam). Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa nilai fluks akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir *feed*. Fluks permeat terendah sebesar 105,69 L/m²jam pada variabel membran *dip-coating* 1 dan laju alir 8 ml/menit, sedangkan fluks permeat tertinggi sebesar 245,47 L/m²jam pada variabel membran *dip-coating* 3 dan laju alir 20 ml/menit.

Nilai fluks dari membran *polyester* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tekanan yang diberikan, jumlah dan ukuran pori, serta ketebalan membran (Pratomo, 2003). Selain itu, menurut Ismail dkk (2012) konsentrasi umpan juga mempengaruhi fluks permeat. Pada pengujian fluks dilakukan pada tekanan atmosferik (1 atm) karena sesuai dengan pernyataan Wenten dkk (2014) bahwa proses mikrofiltrasi dioperasikan pada tekanan < 2 bar (1,97 atm) dengan ukuran pori 0,05 – 10 µm. Nilai fluks yang dihasilkan membran *polyester* yaitu 245,47 L/m²jam, hal ini sesuai dengan Mulder (1996) bahwa pada mikrofiltrasi nilai fluks atau permeabilitasnya > 50 L/m²jam.



Gambar 4. 4 Hubungan Antara Fluks dan Jumlah Pelapisan

Selain itu, pada Tabel 4.4 terlihat pula bahwa membran dengan jumlah pelapisan lebih banyak dapat menghasilkan nilai fluks yang lebih besar. Hubungan antara fluks dan jumlah pelapisan ditunjukkan pula pada Gambar 4.4 yang menyatakan bahwa membran dengan jumlah pelapisan 3 kali memiliki nilai fluks yang paling besar yaitu 245,47 L/m²jam. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya pengaruh tingkat hidrofobisitas dan kestabilan sudut kontak membran terhadap fluks. Sifat hidrofobisitas membran membuat minyak dapat melewatinya karena memiliki kepolaran yang sama. Selain itu, tingkat kestabilan hidrofobisitas membran yang tinggi menjadikan membran tidak mudah terdegradasi sudut kontakannya. Semakin tinggi tingkat hidrofobisitas dan kestabilan sudut kontak maka semakin tinggi pula fluks yang dihasilkan karena dapat mengurangi kemungkinan adanya gugus alkil pada membran yang terhidrolisis oleh air yang ada pada udara (Aegerter, 2011).

Membran *polyester* ini termasuk membran asimetri yang mana tersusun atas dua lapisan, permukaannya memiliki lapisan yang tipis dengan ukuran pori lebih kecil dibanding lapisan penyangganya (Widyasmara dkk, 2013). Penyusun utama minyak goreng sawit yaitu trigliserida yang merupakan molekul nonpolar dan memiliki ukuran partikel sebesar 1,5 nm atau 0,0015 µm (Matsuura & Ismail, 2016). Merujuk pada penelitian Liu dkk (2010) menyatakan bahwa membran komposit hidrofobik yang dibuat dengan bahan dan prosedur yang sama akan menghasilkan ukuran pori membran pada rentang 0,1 – 0,12 µm. Ukuran partikel trigliserida yang jauh lebih kecil dibandingkan ukuran pori menyebabkan minyak goreng sawit dapat dengan mudah melewati membran.

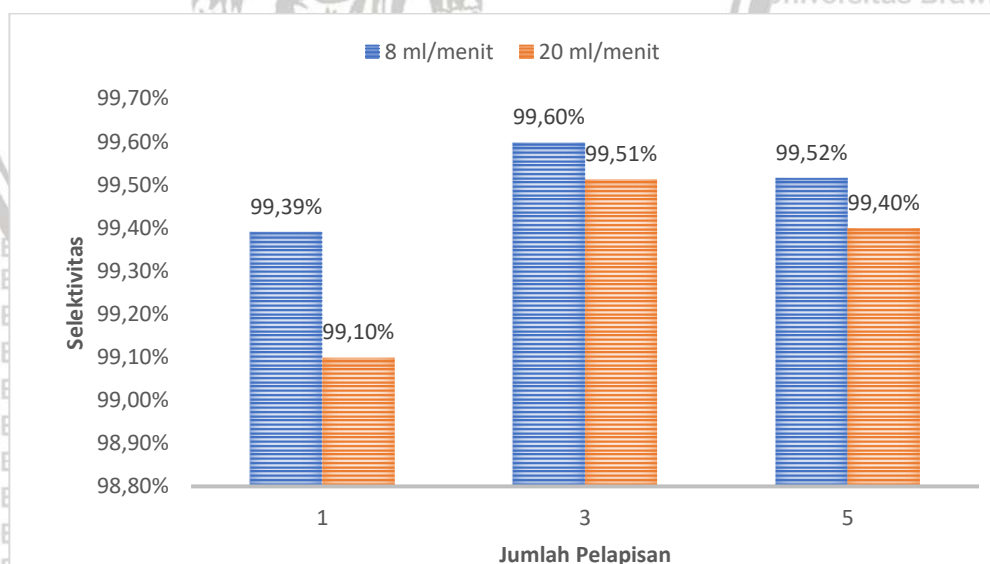
4.2.2 Uji Selektivitas Membran dan Kadar Air

Selektivitas membran terhadap campuran umumnya dinyatakan dengan salah satu dari dua parameter, retensi (R) atau faktor pemisahan (α). Retensi dapat dinyatakan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$R = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

Dimana C_f adalah konsentrasi zat terlarut yang berada di *feed* dan C_p adalah konsentrasi zat terlarut yang ada di *permeate*. Dikarenakan R tidak berdimensi, maka retensi berpengaruh pada satuan yang menyatakan konsentrasi. Nilai %R bervariasi antara 100% dan 0% (Mulder, 1996).

Uji selektivitas membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dilakukan dengan cara melakukan proses pemisahan campuran minyak-air. Komposisi campuran minyak dan air yaitu 76% minyak dan 24% air yang sesuai dengan komposisi *feed* CPO sebelum memasuki proses pemisahan (Corley dkk, 2016). Proses pemisahan dilakukan secara kontinu selama 60 menit dengan laju alir umpan 8 mL/menit dan 20 mL/menit. Selektivitas membran didapatkan dengan menghitung kadar air dalam permeat tiap 10 menit. Penghitungan kadar air dalam permeat minyak dilakukan menggunakan metode sesuai dengan SNI. Kadar air yang didapatkan digunakan untuk menghitung selektivitas membran yang dinyatakan dalam koefisien rejeksi (R).



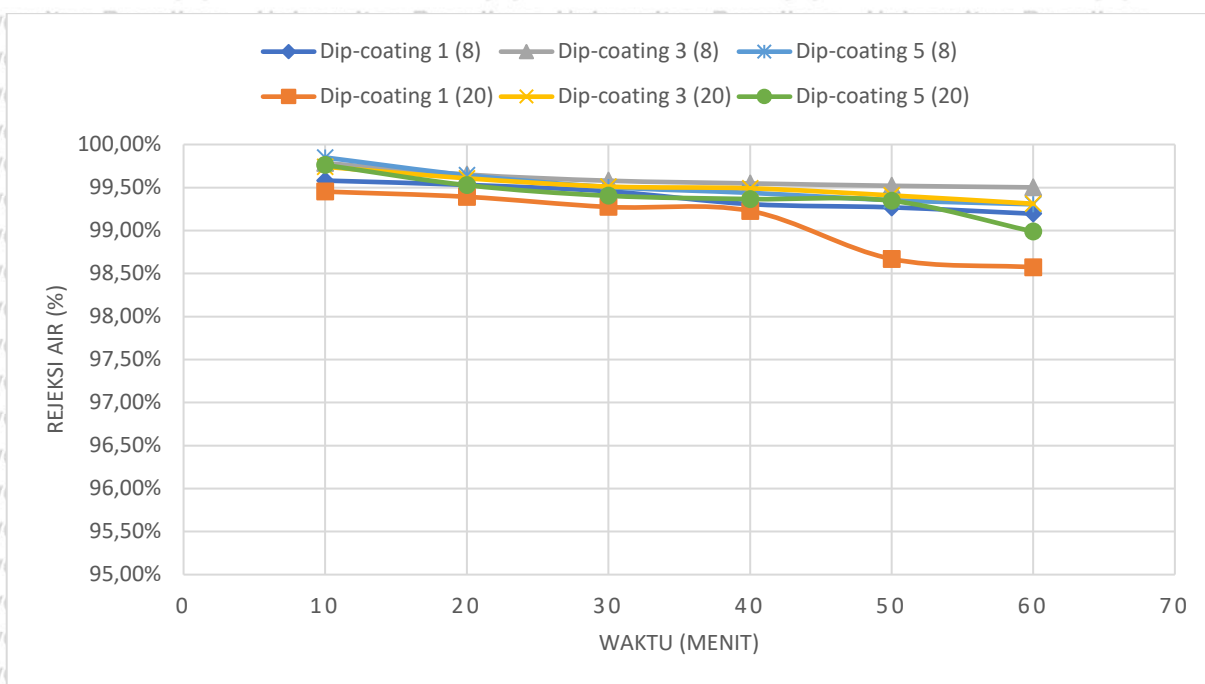
Gambar 4. 5 Grafik jumlah pelapisan terhadap selektivitas

Pemisahan minyak dan air dapat dilakukan karena perbedaan polaritas dari masing-masing senyawa, minyak dapat melewati membran sedangkan air tidak dapat melewati membran karena sifatnya polar. Berdasarkan gambar 4.5, air berhasil

dipisahkan dari minyak terlihat dari persentase selektivitas yang rata-rata nilainya di atas 90% artinya kadar air di permeat (Cp) lebih kecil dibanding kadar air di umpan (Cf). Namun, meskipun sudah terbukti berhasil, hasil pemisahan ternyata masih mengandung air, hal ini disebabkan oleh masih adanya gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik, gugus ini tidak tersubstitusi secara sempurna dengan gugus alkil saat proses sililasi. Pada gambar 4.5, membran dengan jumlah pelapisan 3 kali dan laju alir 8 ml/menit memiliki selektivitas tertinggi yaitu 99,597%, sedangkan membran dengan jumlah pelapisan sebanyak 1 kali dan laju alir 20 ml/menit memiliki selektivitas terendah yaitu 99,098%.

Meskipun pelapisan 5 kali memiliki sudut kontak lebih besar dibanding pelapisan 3 kali, namun dikarenakan kestabilannya lebih rendah dan mudah terdegradasi membuat penurunan persentase rejeksi air pelapisan 5 kali setiap waktunya lebih besar dibanding pelapisan 3 kali, sehingga rata-rata selektivitasnya menjadi besar. Semakin besar sudut kontak yang terbentuk antara air dan permukaan membran, maka air semakin sulit melewati membran. Selain itu, kestabilan hidrofobisitas membran yang tinggi cenderung kuat dan tidak mudah terdegradasi sehingga selektivitas tidak mengalami penurunan secara signifikan.

Molekul air memiliki ukuran partikel sebesar $0,00028 \mu\text{m}$ (Naim, 2009). Sedangkan membran *polyester* yang sudah tercoating silika memiliki ukuran pori sebesar $0,1 - 0,12 \mu\text{m}$ (Liu dkk, 2010). Walaupun air memiliki ukuran pori lebih kecil, namun karena air bersifat polar sehingga permukaan membran yang bersifat non-polar dapat menahan air. Hal ini sesuai dengan Crick, Bhachu dan Parkin (2014) yang menyatakan bahwa air akan tertahan sebagai retentat oleh membran yang bersifat superhidrofobik-superoleofilik, sedangkan minyak dapat melewati membran sebagai permeat. Sehingga proses mikrofiltrasi ini tidak hanya berdasarkan ukuran pori namun juga berdasarkan keterbasahan membran.



Gambar 4. 6 Selektivitas membran *polyester*

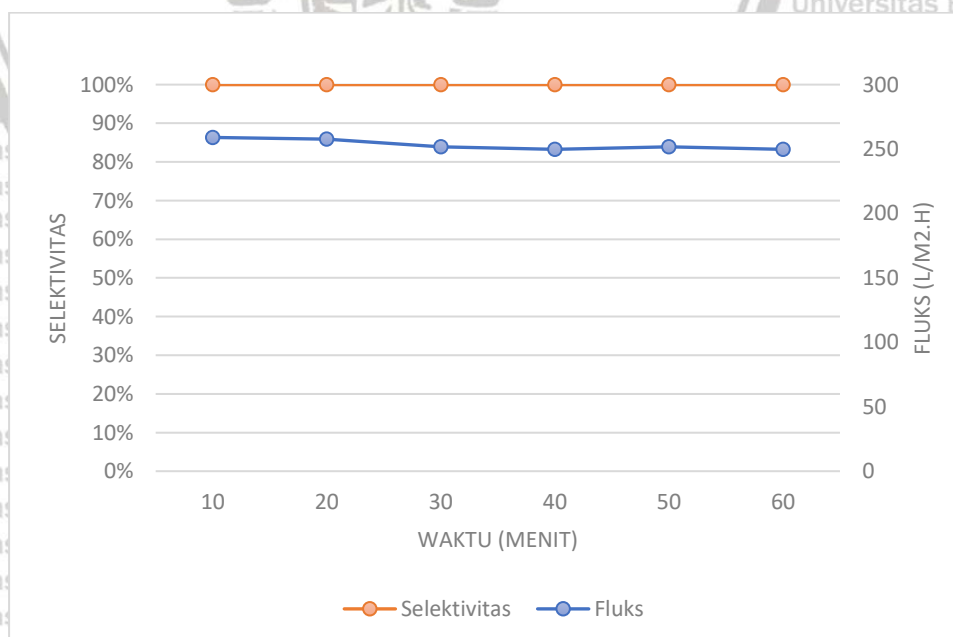
Gambar 4.6 menunjukkan selektivitas dengan penurunan yang tidak signifikan seiring berjalannya waktu pada *dip-coating* 1, 3, dan 5 di semua variasi laju alir, hal ini dibuktikan dengan uji BNT yang tidak berbeda signifikan. Selektivitas sedikit menurun terhadap waktu terjadi karena adanya polarisasi konsentrasi di mana senyawa-senyawa yang tertahan akan menumpuk di atas permukaan membran (Hardjito dkk, 2007). Polarisasi konsentrasi menyebabkan senyawa yang tertahan menjadi lebih banyak konsentrasinya di permeat. Selain itu, akibat perbedaan densitas yang mana air lebih besar densitasnya dibanding minyak sehingga air akan selalu berada dibawah minyak dan dapat menutupi permukaan membran. Saat air menutupi permukaan membran, minyak tidak lagi dapat berkontak dengan permukaan membran dan menyebabkan semakin banyak air yang dapat melewati membran.

Menurunnya selektivitas membran juga disebabkan oleh kondisi membran. Air yang berkontak dengan permukaan membran secara terus-menerus akan menyebabkan reaksi hidrolisis. Gugus alkil yang terhidrolisis oleh air akan menghasilkan gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik (Wagh dkk, 2015). Semakin lama waktu kontak antara air dan permukaan membran, maka semakin banyak pula gugus alkil yang terhidrolisis. Oleh sebab itu, semakin lama waktu filtrasi, semakin banyak air yang melewati membran.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi selektivitas yaitu laju alir. Berdasarkan gambar 4.5, proses filtrasi dengan laju alir umpan 8 ml/menit menghasilkan selektivitas lebih besar dibanding laju alir 20 ml/menit pada setiap variasi jumlah pelapisan. Fenomena ini dikarenakan semakin tinggi laju alir maka semakin rendah waktu tinggal campuran pada permukaan membran (Ezzati dkk, 2005). Waktu tinggal yang rendah menyebabkan waktu kontak campuran dengan permukaan membran menjadi lebih singkat sehingga menurunkan efektivitas faktor kebasahan membran dalam memisahkan campuran minyak-air. Semakin lama minyak akan ikut terbawa ke retentat dan menurunkan konsentrasi minyak di permeat. Namun, berdasarkan hasil uji beda nyata terkecil (Lampiran A.4.6) selisih antar nilai selektivitas tidak berbeda secara signifikan. Sehingga perbedaan laju alir tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai selektivitas membran.

4.2.3 Perbandingan Fluks dan Selektivitas

Membran yang memiliki performa baik merupakan membran yang memiliki nilai fluks dan selektivitas tinggi (Fauzia dkk, 2018). Fluks yang tinggi dapat mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk pemisahan sehingga proses lebih efisien. Dan selektivitas yang tinggi dapat menghasilkan permeat dengan kemurnian yang tinggi pula. Pada penelitian ini, membran dengan jumlah pelapisan 3 kali dengan laju alir umpan 20 ml/menit memiliki performa yang paling baik diantara lainnya.



Gambar 4. 7 Grafik perbandingan nilai fluks dan selektivitas membran *dip-coating* 3 kali dengan laju alir 20 ml/menit

Berdasarkan gambar 4.7, selektivitas membran tidak menurun secara signifikan dalam waktu 60 menit sehingga garisnya masih cenderung lurus dengan nilai selektivitas 99,741% - 99,311% dibuktikan dengan hasil uji beda nyata terkecil (BNT) yang tidak berbeda signifikan (Lampiran A.4.5). Namun, meskipun sedikit penurunan selektivitas tetap terjadi karena terjadi hidrolisis gugus alkil menjadi gugus hidroksil oleh molekul air (Wagh dkk, 2015), sehingga semakin lama filtrasi maka hidrofobisitas membran menurun meskipun sedikit. Membran dengan jumlah pelapisan 3 kali memiliki kestabilan tinggi yang membuat air bisa tetap tertahan di permukaan membran dalam waktu yang lama. Banyaknya gugus alkil yang tersebar pada permukaan membran menjadikan sifat hidrofobisitasnya tidak menurun secara tajam.

Selain selektivitas, gambar 4.7 juga menunjukkan perubahan fluks setiap satuan waktu. Fluks berubah cenderung turun dengan penurunan $\pm 10 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ dalam 60 menit. Penurunan fluks disebabkan oleh fenomena fouling yang terjadi pada permukaan ataupun pori membran. Menurut Wenten dkk (2013) banyak hal yang dapat menyebabkan fouling, seperti endapan lemak, kekasaran permukaan membran, dan rentang ukuran pori membran dengan umpan. Pengendapan lemak pada permukaan membran dapat membentuk lapisan cake dan menyumbat pori, sehingga permeat semakin sedikit yang dapat melewati membran. Permukaan membran yang semakin kasar lebih berpotensi terjadi fouling. Selain itu, ukuran partikel trigliserida (1,5-2 nm) yang lebih kecil dari pori membran ($0,05 \mu\text{m}$) dapat berdiam di dalam pori-pori membran dan menyebabkan penyumbatan. (Wenten dkk, 2013)

Berdasarkan gambar 4.7, selektivitas dan fluks mengalami penurunan sebesar $\pm 0,4\%$ dan $\pm 3,57\%$ dalam waktu 1 jam. Kestabilan selektivitas dan fluks yang tinggi menunjukkan kinerja membran yang baik untuk digunakan pada industri karena memiliki *lifetime* yang lama.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Membran *polyester* dengan jumlah pelapisan sebanyak 5 kali memiliki nilai hidrofobisitas paling tinggi yaitu 163,289°, dan membran *polyester* dengan jumlah pelapisan sebanyak 3 kali memiliki kestabilan hidrofobisitas paling tinggi dengan penurunan sudut kontak sebesar 0,0880°/hari dan sudut kontak 157,851°. Sedangkan membran *polyester* dengan jumlah pelapisan 1 kali memiliki nilai hidrofobisitas paling rendah yaitu 156,860° dan memiliki kestabilan hidrofobisitas terendah dengan penurunan sudut kontak sebesar 0,3188°/hari.
2. Jumlah pelapisan dapat mempengaruhi performa membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik pada proses pemurnian CPO-air. Membran dengan jumlah pelapisan sebanyak 3 kali dan laju alir 20 ml/menit memiliki performa yang paling baik dengan nilai fluks dan selektivitas yaitu 245,47 L/m²jam dan 99,512%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian performa membran dengan tekanan yang berbeda untuk mengetahui pengaruh perubahan tekanan terhadap performa membran dalam melakukan pemisahan minyak-air.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai kekuatan mekanik dari membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik untuk mengetahui sifat ketahanan mekanik membran sebelum dan sesudah proses pemisahan minyak-air.
3. Perlu dilakukan pengujian SEM pada membran untuk mengetahui ukuran pori membran *polyester* dan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada membran.
4. Dibutuhkan pengukuran sudut kontak membran setelah proses filtrasi untuk mengetahui membran dapat digunakan berapa kali.
5. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai aplikasi skala besar dengan menggunakan pengaplikasian membran *polyester* termodifikasi silika hidrofobik dalam pengaplikasiannya sebagai membran pada proses pemurnian CPO-air.

DAFTAR PUSTAKA

- Aegerter, M. A., Leventis, N., Koebel, M. 2011. *Aerogels Handbook*. New York: Springer
- Al-Saleh M. F., Yousif, A. E. 2009. Properties of the Standard Deviation that are Rarely Mentioned in Classroom. *Austrian Journal of Statistics*, Vol 38 (2009), No. 3, 193-202
- Andersson, R., Skogstad, E. (2019). *Redispersion of Dried Colloidal Silica*. Gothenburg: Department of Chemistry and Chemical Engineering, Chalmers University of Technology.
- Andhika, Renardi. (2016). *Produksi dan Pemurnian Biodiesel dengan Teknologi Membran*. ResearchGate.
- Apriwaluyo, D., Andrianto, S. D. (2018). *Pembuatan Membran Komposit Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Minyak – Air*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Arahman, N., Erika, C., Putra, A. (2013). Pemurnian Minyak Kelapa Sawit menggunakan Membran Serat Berongga. *AGRITECH*, Vol. 33 (1).
- Aryanti, N., Wardhani, D. H., Nafiunisa, A. (2018). Ultrafiltration Membrane for Degumming of Crude Palm Oil-Isopropanol Mixture. *Chemical and Biochemical Engineering Quartely* 32(3):325-334.
- Babu, Suryadevara. (2016). *Advances in Chemical Mechanical Planarization (CMP)*. Cambridge: Elsevier Ltd.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. SNI 01-2901-2006 Minyak kelapa sawit mentah (*Crude palm oil*). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Baker, Richard W. (2004). *Membran Technology and Applications*. California: John Wiley & Sons, Ltd.
- Bramantya, B., Rifaldi, M., & Oktavian, R. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Silika Aerogel Hidrofobik dan Olioofilik dari Pasir Laut sebagai Absorben Tumpahan Minyak. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 2(2), 49-54.

- Devi, T. R. P. S., Nurhayati, Linggawati, A. (2015). Produksi Biodiesel dari CPO dengan Proses Esterifikasi dengan Katalis H_2SO_4 dan Transesterifikasi dengan Katalis CaO dari Cangkang Kerang Darah. *JOM FMIPA* Vol 2 No. 1.
- Drioli, E., Giorno, L. (2010). *Comprehensive Membran Science and Engineering*. UK: Elsevier.
- Elma, Muthia. (2016). *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Ezzati, A., Goruhi, E., Mohammadi, T. 2005. Separation of Water in Oil Emulsions Using Microfiltration. *Desalination* 185 (2005) 371-382
- Fahham, Ali A. 2018. Development of New LSD Formula When Numbers of Observations are Unequal. *Scientific Research Publishing – Open Jurnal of Statistic*, 2018, 8, 258-263
- Foo, D. C. Y., Aziz, M. K. T. A. (2019). *Green Technologies for the Oil Palm Industri*. Singapore: Springer.
- Geancoplis, J. Christie. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*. New Jersey: PTR Prentice-Hall, Inc.
- Gebreslase, Gebrehiwet Abraham. (2018). Review on Membrane for the Filtration of Aqueous Based Solution: Oil in Water Emulsion. *Journal of Membrane Science & Technology*, 8:2.
- Gray, S., Tsuru, T., Cohen, Y., Lau, W. J. (2019). *Advanced Materials for Membran Fabrication and Modification*. New York: CRC Press.
- Ha, C. S., & Nagappan, S. (2018). *Hydrophobic and Superhydrophobic Organic-Inorganic Nano-Hybrids*. CRC Press.
- Hankins, N. P., Singh, R. (2016). *Emerging Membran Technology for Sustainable Water Treatment*. Cambridge: Elsevier.
- Hassan, M., Qashqary, K., Hassan, H. A., Shady, E., Alansary, M. (2012). Influence of Sportswear Fabric Properties on the Health and Performance of Athletes. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol 20 (82-88).
- He, T., Chen, X., Wang, Y., Cheng, Z., Liu, Y., Wang, X., Luo, L., Chen, Y., Liu, X. (2020). Fabrication of Durable Superhydrophobic Surfaces of Polyester Fabrics via Fluorination-induced Grafting Copolymerization. *Applied Surface Science*, Vol. 515.

- Imansari, M. B., & Mahardana, N. S. (2018). *Pengaruh Rasio H₂O: Natrium Silikat dan Konsentrasi Katalis NH₄OH pada Membran Komposit Silika Hidrofobik dalam Pemisahan CPO-Air* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Inyang, J., Munot, M. A., Shazali, S. T. S., Tanjong, A. J. (2019). A Model to Manage Crude Palm Oil Production System. *EDP Sciences*, MATEC Web Conferences 255.
- Kim, J., Choi, S. (2018). *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*. Manhattan: Elsevier Ltd.
- Kristy, D. P., & Zainul, R. (2019, February 3). Analisis Molekular dan Transpor Ion Natrium Silikat. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8ac4m>
- Kumar, A., Nanda, D. (2019). *Superhydrophobic Polymer Coatings*. Elsevier Inc.
- Kusworo, T. D., Soetrisnanto, D., Widayat, Budiyo, Utomo, D. P. (2018). Study of Polymeric Membranes Potential for Eugenol Purification from Clude Clove leaf Oil. *Asean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 18, No. 2 (81-92).
- Lai, O., Than, C. & Akoh, C. C. 2012. *Palm Oil: Production, Processing, Characteristization and Uses*. Urbana: AOCS press.
- Larasati, N., Chasanah, S., Machmudah, S., Winardi, S. (2016). Studi Analisa Ekonomi Pabrik CPO (Crude Palm Oil) dan PKO (Palm Kernel Oil) dari Buah Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 5, No. 2.
- Liew, W. L., Kassim, M. A., Muda, K., Loh, S. K., Affam, A. C. (2015). Conventional Methods and Emerging Wastewater Polishing Technologies for Palm Oil Mill Effluent Treatment: A Review. *Journal of Environmental Management*, 222-235.
- Liza, Y. M., Yasin, R. C., Maidani, S. S., & Zainul, R. (2018). *Sol Gel: Principle And Technique* (A Review).
- Mahbulul, I. M. (2019). *Preparation, Characterization, Properties, and Application of Nanofluid*. Oxford: Elsevier, Inc.
- Meidinariasty, A., Zamhari, M., Septiani, D., Novianita. (2019). Uji Kinerja Membran Mikrofiltrasi dan Reverse Osmosis pada Proses Pengolahan Air Reservoir menjadi Air Minum Isi Ulang. *Jurnal Kinetika*, Vol. 10, No. 03 (35-41).

- Montazer, Majid dan A. Sadighi. 2005. Hot Alkali Treatment of Polyester or Cotton Fabric with Hydrous. 16:21-28.
- Mulder, Marcel. (1996). *Basic Principles of Membran Technology*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Nizam, A. F. A., Zober, N. N. M., Mahmud, M. S. (2019). *Effect of Strong Base Buffer on Crude Palm Oil Yield*. *Material Today: Proceeding* 19, 1390-1394.
- Notodarmojo, Suprihanto, D. Mayashanthi, dan T. Zulkarnain. 2004. Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Proses Membran Ultrafiltrasi Dua-tahap Aliran Cross-flow. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 36A (1): 45-62.
- Obibuzor, J. U., Okogbenin, E. A., Abigor, R. D. (2012). *Oil Recovery from Palm Fruits and Palm Kernel*. Dalam Lai, Oi-Ming, Tan, Chin-Ping, dan Akoh, Casimir C. (editor). *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses*. Illinois: AOCS Press.
- Oktavian, R., Poerwadi, B., Supriyono, Wahyu, C., Septiadi, H. T., Yuniardi, M. I. (2019). Studi Performa Membran Hidrofobik Berbasis Silika dalam Proses Pemurnian Biodiesel. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, Vol. 3 (20-24).
- Pratomo, Heru. (2003). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi. Yogyakarta: *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, Edisi 3 Tahun VIII, 2003.
- Poerwadi, B., Kartikowati, C. W., Oktavian, R., Novaresa, O. (2020). Manufacture of a Hydrophobic Silica Nanoparticle Composite Membran for Oil-Water Emulsion Separation. *International Journal of Technology*, Vol 11 (2), 364-373.
- Prihandana, R., Hendroko, R., & Nuramin, M. (2006). *Menghasilkan biodiesel murah*. Tangerang: AgroMedia.
- Purkait, Mihir Kumar, & Randeep Singh. (2018). *Membran Technology in Separation Science*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC.
- Rao, A. V., Gurav, A. B., Latthe, S. S., Vhatkar, R. S., Imai, H., Kappenstein, C., Wagh, P. B., Gupta, S. C. (2010). Water Repellent Porous Silica Films by Sol-Gel Dip Coating Method. *Journal of Colloid and Interface Science*, 30-35.

- Rohaeti, Eli. (2017). *Kajian tentang Kain Poliester Antibakteri dan Antikotor*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY 2017.
- Safitri, A. W., Aritonang, H. I., Poerwadi, B., Oktavian, R. (2019). Karakterisasi Membran Komposit SiO₂ Hidrofobik terhadap Komposisi dan Jenis Pendispersi pada Pemisahan CPO-Air. *Jurnal Mahasiswa Teknik Kimia*, Vol 4.
- Santos, L. K. D., Hatanaka, R. R., Oliveira, J. E. D., Flumignan, D. L. (2018). Production of Biodiesel from Crude Palm Oil by a Sequential Hydrolysis/Esterification Process using Subcritical Water. *Renewable Energy*, 633-640.
- Saragih, D. A., Qomariah, N., & Saleh, A. (2018). Pembuatan membran komposit nilon-karbon aktif dengan variasi suhu dan waktu pengadukan. *Jurnal Teknik Kimia*, 24(3), 89-93.
- Sarip, M. S. M., Morad, N. A., Yamashita, Y., Tsuji, T., Yunus, M. A. C., Aziz, M. K. A., Lam, H. L. (2016). Crude Palm Oil (CPO) Extraction using Hot Compressed Water (HCW). *Separation and Purification Technology*, 103-112.
- Song, Hong, Z. Zhao, G. Xu, Y. Wang, dan J. Hu. 2016. Facial Preparation of Superhydrophobic and Superoleophilic Textiles by Depositing Nano-SiO₂ for Oil-Water Separation. *The Journal of The Textile Institute*, 108(8): 1297-1301.
- Suprana, Y. A., & Latif, A. (2015). Pengaruh Pengadukan Pada Pembentukan Sol-Silika Dari Sodium Silikat (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Susilowati, E., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. (2018). Sintesis Kitosan-Silika Bead Sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Pb (II) pada Limbah Cair Batik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 123-131.
- Susmanto, P., Hukama, I. H., Hayati, S. Y. (2016). Pengaruh Laju Alir terhadap Pengurangan Konsentrasi Cr (VI) menggunakan Membran Ultrafiltrasi. Semantic Scholar, ID 105733526.
- Trivana, Linda & Sugiarti, Sri & Rohaeti, Eti. (2015). Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) Dari Sekam Padi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*. 7. 66-75. 10.20885/jstl.vol7.iss2.art1.
- Uju, L. H., & Suprihatin, P. S. (2008). Karakteristik Fouling dan Polarisasi Konsentrasi pada Proses Pemurnian dan Pemekatan Karaginan dengan Membran Mikrofiltrasi. *Journal of Agroindustrial Technology*, 18(1).

- Wagh, P. B., Kumar, R., Patel, R. P., Singh, I. K., Ingale, S. V., Gupta, C. S., Mahadik, D. B., Rau, A. V. 2015. Hydrophobicity Measurement Studies of Silica Aerogels using FTIR Spectroscopy, Weight Difference Method, Contact Angle Method and KF Titration Method. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* Vol. 5 No. 3: 2350-2359
- Wang, Jintao dan G. Geng. 2016. Simple and Ecofriendly Fabrication of Superhydrophobic Textile for Oil/Water Separation. *Journal of Environmental Technology*, 37(13): 1591
- Wenten, I. G., Hakim, A. N., Khoiruddin, Aryanti, P. T. P. 2013. *Polarisasi Konsentrasi dan Fouling pada Membran*. ResearchGate
- Wenten, I. G., Victoria, A. V., Tanukusuma, G., Khoiruddin, K., Zunita, M. (2019). Simultaneous Clarification and Dehydration of Crude Palm Oil using Superhydrophobic Polypropylene Membran. *Journal of Food Engineering*, 23-27.
- Widiamara, A., & Gunawan, K. J. F. (2017). Efek waktu dan suhu operasi proses sililasi pada pembuatan aerogel silika pada pengeringan tekanan atmosferik (ambient-pressure drying) (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Xue, C. H., Ji, P. T., Zhang, P., Li, Y. R., Jia, S. T. Fabrication of Superhydrophobic and Superoleophilic Textiles for Oil – Water Separation. *Applied Surface Science*, 464-471.
- Yamashita, H., Nakano, Y. (2008). *Polyester: Properties, Preparation, and Applications*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Yang, H., Pi, P., Cai, Z., Wen, X., Wang, X., Cheng, J., Yang, Z. (2010). Facile Preparation of Super-hydrophobic and Super-oleophilic Silica Film on Stainless Steel Mesh via Sol-gel Process. *Applied Surface Science*, 4095-4102.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DATA DAN PERHITUNGAN

LAMPIRAN A.1 DATA UJI KESTABILAN HIDROFOBISITAS MEMBRAN

Tabel A.1 Data Uji Kestabilan Hidrofobisitas Membran *Dip-coating* 1 Kali

<i>Dip-coating 1</i>							
Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
0	1	157,615	157,370	0,060	0,658	0,363	0,461%
	2	157,190		0,032			
	3	157,917		0,299			
	4	157,264		0,011			
	5	156,865		0,255			
1	1	153,022	156,719	13,669	21,092	2,054	2,621%
	2	157,008		0,083			
	3	156,798		0,006			
	4	157,438		0,517			
	5	159,330		6,816			
2	1	154,959	156,857	3,601	5,004	1,000	1,276%
	2	156,826		0,001			
	3	157,175		0,101			
	4	157,613		0,572			
	5	157,710		0,728			
3	1	156,897	156,941	0,002	1,651	0,575	0,732%
	2	156,644		0,088			
	3	157,289		0,121			
	4	157,787		0,715			
	5	156,090		0,725			
4	1	158,834	156,777	4,231	11,442	1,513	1,930%
	2	156,463		0,099			
	3	156,156		0,386			
	4	157,962		1,404			
	5	154,470		5,322			
5	1	153,797	155,638	3,390	5,534	1,052	1,352%
	2	156,144		0,256			
	3	155,866		0,052			
	4	156,974		1,784			
	5	155,410		0,052			
6	1	156,260	155,779	0,231	0,992	0,445	0,572%
	2	155,919		0,019			
	3	155,007		0,597			
	4	156,114		0,112			
	5	155,597		0,033			

Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
7	1	158,724	155,920	7,860	11,520	1,518	1,947%
	2	155,694		0,051			
	3	154,147		3,145			
	4	155,253		0,445			
	5	155,784		0,019			
8	1	155,304	154,669	0,404	1,400	0,529	0,684%
	2	154,905		0,056			
	3	153,711		0,917			
	4	154,611		0,003			
	5	154,812		0,021			
9	1	154,375	153,645	0,533	1,516	0,551	0,717%
	2	153,490		0,024			
	3	152,784		0,741			
	4	153,489		0,024			
	5	154,085		0,194			

Tabel A.2 Data Uji Kestabilan Hidrofobisitas Membran *Dip-coating* 2 Kali

<i>Dip-coating 2</i>							
Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
0	1	157,498	158,006	0,258	1,738	0,590	0,746%
	2	157,227		0,606			
	3	158,601		0,355			
	4	158,726		0,519			
	5	157,976		0,001			
1	1	156,953	158,539	2,517	6,860	1,171	1,478%
	2	157,678		0,742			
	3	158,362		0,031			
	4	160,101		2,439			
	5	159,603		1,131			
2	1	156,407	159,073	7,108	19,328	1,966	2,472%
	2	158,129		0,891			
	3	158,123		0,903			
	4	161,476		5,774			
	5	161,230		4,653			
3	1	156,345	158,370	4,101	13,218	1,626	2,053%
	2	157,246		1,264			
	3	158,498		0,016			
	4	161,160		7,783			
	5	158,602		0,054			

Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
4	1	156,160	158,141	3,924	12,828	1,602	2,026%
	2	156,947		1,425			
	3	158,209		0,005			
	4	160,845		7,313			
	5	158,543		0,162			
5	1	155,976	157,912	3,747	12,519	1,582	2,004%
	2	156,649		1,594			
	3	157,920		0,000			
	4	160,529		6,851			
	5	158,484		0,328			
6	1	155,791	157,682	3,577	12,317	1,570	1,991%
	2	156,350		1,775			
	3	157,630		0,003			
	4	160,214		6,410			
	5	158,426		0,553			
7	1	155,606	157,453	3,411	12,200	1,562	1,984%
	2	156,052		1,962			
	3	157,341		0,012			
	4	159,898		5,979			
	5	158,367		0,836			
8	1	155,422	157,224	3,247	12,180	1,561	1,985%
	2	155,754		2,161			
	3	157,052		0,030			
	4	159,583		5,565			
	5	158,309		1,177			
9	1	154,887	156,216	1,767	9,752	1,397	1,788%
	2	154,267		3,800			
	3	157,028		0,659			
	4	156,959		0,551			
	5	157,941		2,974			

Tabel A.3 Data Uji Kestabilan Hidrofobisitas Membran *Dip-coating* 3 Kali

<i>Dip-coating 3</i>							
Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
0	1	156,361	157,776	2,003	3,785	0,870	1,103%
	2	158,192		0,173			
	3	158,151		0,140			
	4	158,887		1,233			
	5	157,291		0,236			

Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\Sigma(X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
1	1	156,635		1,649			
	2	158,793		0,764			
	3	158,135	157,919	0,047	3,042	0,780	0,988%
	4	158,547		0,394			
	5	157,485		0,188			
2	1	156,733		1,239			
	2	158,889		1,088			
	3	158,329	157,846	0,233	3,781	0,870	1,102%
	4	158,393		0,299			
	5	156,886		0,922			
3	1	157,469		1,011			
	2	159,811		1,786			
	3	158,847	158,475	0,139	3,282	0,810	1,022%
	4	157,901		0,329			
	5	158,345		0,017			
4	1	157,453		0,450			
	2	159,103		0,959			
	3	158,708	158,124	0,341	2,151	0,656	0,830%
	4	157,642		0,232			
	5	157,713		0,169			
5	1	157,437		0,113			
	2	158,396		0,388			
	3	158,570	157,773	0,635	1,767	0,595	0,754%
	4	157,383		0,152			
	5	157,081		0,479			
6	1	157,421		0,000003			
	2	157,689		0,071			
	3	158,431	157,423	1,016	2,125	0,652	0,828%
	4	157,124		0,089			
	5	156,449		0,948			
7	1	156,850		0,366			
	2	158,776		1,746			
	3	158,222	157,455	0,589	3,801	0,872	1,107%
	4	156,729		0,527			
	5	156,697		0,574			
8	1	156,763		0,332			
	2	158,620		1,639			
	3	158,161	157,340	0,675	3,844	0,877	1,115%
	4	156,446		0,799			
	5	156,708		0,399			

Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
9	1	156,677	157,225	0,300	3,983	0,893	1,135%
	2	158,464		1,536			
	3	158,100		0,766			
	4	156,164		1,125			
	5	156,719		0,256			

Tabel A.4 Data Uji Kestabilan Hidrofobisitas Membran *Dip-coating* 4 Kali

<i>Dip-coating</i> 4							
Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
0	1	160,775	160,246	0,280	16,838	1,835	2,290%
	2	159,236		1,019			
	3	159,748		0,248			
	4	163,456		10,307			
	5	158,013		4,985			
1	1	160,479	158,673	3,262	6,876	1,173	1,478%
	2	158,109		0,318			
	3	159,249		0,332			
	4	158,574		0,010			
	5	156,954		2,955			
2	1	160,184	158,431	3,074	7,417	1,218	1,537%
	2	157,846		0,342			
	3	159,029		0,358			
	4	158,568		0,019			
	5	156,527		3,624			
3	1	159,888	158,182	2,911	8,112	1,274	1,610%
	2	157,583		0,359			
	3	158,808		0,392			
	4	158,529		0,121			
	5	156,101		4,330			
4	1	159,593	157,946	2,712	9,051	1,345	1,704%
	2	157,320		0,392			
	3	158,588		0,412			
	4	158,556		0,372			
	5	155,674		5,163			
5	1	159,947	158,273	2,803	14,710	1,715	2,167%
	2	156,981		1,669			
	3	156,740		2,349			
	4	160,749		6,132			
	5	156,947		1,758			

Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
6	1	160,301	158,633	2,781	10,944	1,479	1,865%
	2	157,614		1,039			
	3	157,904		0,532			
	4	160,489		3,443			
	5	156,859		3,148			
7	1	160,655	158,994	2,759	9,793	1,400	1,760%
	2	158,246		0,560			
	3	159,068		0,005			
	4	160,230		1,528			
	5	156,771		4,942			
8	1	159,787	158,868	0,845	7,992	1,264	1,592%
	2	159,899		1,063			
	3	158,518		0,123			
	4	159,598		0,533			
	5	156,538		5,429			
9	1	158,929	157,950	0,958	6,117	1,106	1,400%
	2	157,516		0,189			
	3	157,491		0,211			
	4	159,450		2,249			
	5	156,366		2,510			

Tabel A.5 Data Uji Kestabilan Hidrofobisitas Membran *Dip-coating* 5 Kali

<i>Dip-coating</i> 5							
Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
0	1	161,747	163,289	2,377	21,325	2,065	2,529%
	2	161,277		4,047			
	3	161,804		2,205			
	4	165,770		6,156			
	5	165,846		6,539			
1	1	161,145	161,843	0,487	21,191	2,059	2,544%
	2	159,699		4,596			
	3	160,379		2,143			
	4	162,463		0,385			
	5	165,528		13,581			
2	1	160,543	161,701	1,341	16,870	1,837	2,272%
	2	159,786		3,666			
	3	161,446		0,065			
	4	161,595		0,011			
	5	165,134		11,787			

Hari ke-	Titik	Sudut kontak (θ)	Rata-rata (μ)	$(X_i - \mu)^2$	$\sum (X_i - \mu)^2$	Standar Deviasi	Error
3	1	159,941	161,559	2,617	17,190	1,854	2,295%
	2	159,873		2,842			
	3	162,513		0,910			
	4	160,726		0,694			
	5	164,741		10,126			
4	1	159,339	161,217	3,528	25,855	2,274	2,821%
	2	158,961		5,091			
	3	163,581		5,587			
	4	159,858		1,848			
	5	164,348		9,801			
5	1	160,060	163,241	10,121	31,784	2,521	3,089%
	2	160,326		8,500			
	3	164,560		1,739			
	4	165,697		6,030			
	5	165,564		5,394			
6	1	159,908	162,523	6,837	28,677	2,395	2,947%
	2	160,395		4,528			
	3	161,564		0,919			
	4	165,109		6,688			
	5	165,638		9,704			
7	1	159,757	162,205	5,992	29,370	2,424	2,988%
	2	160,464		3,030			
	3	160,569		2,676			
	4	164,521		5,365			
	5	165,713		12,307			
8	1	160,772	162,681	3,644	30,593	2,474	3,041%
	2	161,378		1,698			
	3	160,089		6,718			
	4	164,664		3,932			
	5	166,502		14,600			
9	1	158,518	160,091	2,474	21,752	2,086	2,606%
	2	158,785		1,705			
	3	158,538		2,411			
	4	160,672		0,338			
	5	163,941		14,824			

Keterangan:

- Perhitungan standar deviasi menggunakan persamaan *standard deviation* sebagai berikut:

$$\text{Standard Deviation } (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

dimana

X_i = Data ke-I (I = 1, 2, 3, 4, ... N)

μ = Rata-rata sampel

N = Jumlah data

(Al-Saleh dan Yousif, 2009)

- Data sudut kontak dinyatakan *valid* karena nilai *error* tidak melebihi 5%, berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung *error*.

$$\%Error = \frac{2\sigma}{\mu} \times 100\%$$

dimana

σ = Standar deviasi

μ = Rata-rata sampel

(Yudhi dan Pramono, 2010)



LAMPIRAN A.2 DATA FLUKS PERMEAT

Tabel A.6 Data Pengujian Fluks *Dip-coating* 1 (8 ml/menit)

Membran yang digunakan	2 lapisan
Laju alir	0,48 L/Jam
Mode aliran	<i>dead end</i>
Luas permukaan	0,003243 m ²

<i>Dip-coating</i> 1 kali				
Waktu		Volume		Fluks (L/m ² .h)
Menit	Jam	mL	L	
0	0,000	0	0	0,000
2	0,033	21	0,021	194,265
4	0,067	35	0,035	161,887
6	0,100	46,5	0,0465	143,386
8	0,133	58	0,058	134,135
10	0,167	72	0,072	133,210
12	0,200	84	0,084	129,510
14	0,233	95,5	0,0955	126,206
16	0,267	105,5	0,1055	121,994
18	0,300	114	0,114	117,175
20	0,333	126	0,126	116,559
22	0,367	136,5	0,1365	114,793
24	0,400	147,5	0,1475	113,706
26	0,433	158	0,158	112,432
28	0,467	167	0,167	110,348
30	0,500	176,5	0,1765	108,850
32	0,533	187	0,187	108,117
34	0,567	197,5	0,1975	107,471
36	0,600	210	0,21	107,925
38	0,633	218	0,218	106,140
40	0,667	229	0,229	105,920
42	0,700	241,2	0,241	106,251
44	0,733	252,6	0,253	106,215
46	0,767	264,1	0,264	106,222
48	0,800	276,6	0,277	106,614
50	0,833	287,5	0,288	106,383
52	0,867	298,7	0,299	106,276
54	0,900	309,0	0,309	105,869
56	0,933	320,5	0,321	105,887
58	0,967	331,8	0,332	105,839
60	1,000	342,4	0,342	105,581

Tabel A.7 Data Pengujian Fluks *Dip-coating* 1 (20 ml/menit)

Membran yang digunakan	2	Lapisan		
Laju alir	1,2	L/Jam		
Mode aliran	dead end			
Luas permukaan	0,003243	m2		
<i>Dip-coating</i> 1 kali				
Waktu		Fluks (L/m2.h)		
Menit	Volume			
	Jam	mL	L	
0	0,000	0	0	0
2	0,033	22	0,022	203,515
4	0,067	47	0,047	217,391
6	0,100	67	0,067	206,599
8	0,133	87	0,087	201,203
10	0,167	108	0,108	199,815
12	0,200	127	0,127	195,806
14	0,233	147	0,147	194,265
16	0,267	165	0,165	190,796
18	0,300	184	0,184	189,125
20	0,333	204	0,204	188,714
22	0,367	228	0,228	191,742
24	0,400	248	0,248	191,181
26	0,433	264	0,264	187,860
28	0,467	280	0,28	185,014
30	0,500	299	0,299	184,397
32	0,533	318	0,318	183,858
34	0,567	340	0,34	185,014
36	0,600	358	0,358	183,986
38	0,633	374	0,374	182,093
40	0,667	397	0,397	183,626
42	0,700	416,5	0,4165	183,472
44	0,733	438,5	0,4385	184,383
46	0,767	457	0,457	183,807
48	0,800	476,8	0,4768	183,780
50	0,833	494	0,494	182,794
52	0,867	516	0,516	183,591
54	0,900	534,5	0,5345	183,129
56	0,933	555,2	0,5552	183,428
58	0,967	574,5	0,5745	183,259
60	1,000	594	0,594	183,164

Tabel A.8 Data Pengujian Fluks *Dip-coating* 3 (8 ml/menit)

Membran yang digunakan	2			Lapisan
Laju alir	0,48			L/Jam
Mode aliran	dead end			
Luas permukaan	0,003243			m2
Dip-coating 3 kali				
Waktu		Volume		Fluks (L/m2.h)
Menit	Jam	mL	L	
0	0,000	0,0	0,000	0,000
2	0,033	14,5	0,015	134,135
4	0,067	25,1	0,025	116,096
6	0,100	38,0	0,038	117,175
8	0,133	51,1	0,051	118,178
10	0,167	64,0	0,064	118,409
12	0,200	77,5	0,078	119,488
14	0,233	91,3	0,091	120,655
16	0,267	105,0	0,105	121,415
18	0,300	121,0	0,121	124,370
20	0,333	133,5	0,134	123,497
22	0,367	146,5	0,147	123,202
24	0,400	162,6	0,163	125,347
26	0,433	178,0	0,178	126,663
28	0,467	193,0	0,193	127,527
30	0,500	210,0	0,210	129,510
32	0,533	225,0	0,225	130,088
34	0,567	240,0	0,240	130,598
36	0,600	255,0	0,255	131,051
38	0,633	269,7	0,270	131,311
40	0,667	285,0	0,285	131,822
42	0,700	300,1	0,300	132,197
44	0,733	315,0	0,315	132,453
46	0,767	330,0	0,330	132,727
48	0,800	344,0	0,344	132,593
50	0,833	359,0	0,359	132,840
52	0,867	374,0	0,374	133,068
54	0,900	389,0	0,389	133,279
56	0,933	398,0	0,398	131,492
58	0,967	409,0	0,409	130,467
60	1,000	425,0	0,425	131,051

Tabel A.9 Data Pengujian Fluks *Dip-coating* 3 (20 ml/menit)

Membran yang digunakan	2			Lapisan
Laju alir	1,2			L/Jam
Mode aliran	dead end			
Luas permukaan	0,003243			m2
<i>Dip-coating 3 kali</i>				
Waktu		Volume		Fluks (L/m2.h)
Menit	Jam	mL	L	
0	0,000	0	0	0
2	0,033	26,5	0,027	245,143
4	0,067	56,5	0,057	261,332
6	0,100	83	0,083	255,936
8	0,133	110	0,110	254,394
10	0,167	140	0,140	259,019
12	0,200	169	0,169	260,561
14	0,233	195	0,195	257,698
16	0,267	225	0,225	260,176
18	0,300	249,5	0,250	256,450
20	0,333	278,5	0,279	257,632
22	0,367	304,5	0,305	256,076
24	0,400	334	0,334	257,478
26	0,433	360	0,360	256,173
28	0,467	385	0,385	254,394
30	0,500	408	0,408	251,619
32	0,533	435,5	0,436	251,792
34	0,567	461,5	0,462	251,129
36	0,600	487	0,487	250,283
38	0,633	513	0,513	249,769
40	0,667	540	0,540	249,769
42	0,700	570	0,570	251,090
44	0,733	598	0,598	251,451
46	0,767	626	0,626	251,780
48	0,800	649	0,649	250,154
50	0,833	680	0,680	251,619
52	0,867	712	0,712	253,327
54	0,900	738	0,738	252,852
56	0,933	760,8	0,761	251,355
58	0,967	782	0,782	249,450
60	1,000	810	0,810	249,769

Tabel A.10 Data Pengujian Fluks *Dip-coating* 5 (8 ml/menit)

Membran yang digunakan	2 Lapisan			
Flowrate	0,48 L/jam			
Mode aliran	dead end			
Luas permukaan	0,003243 m ²			
<i>Dip-coating 5 kali</i>				
Waktu		Volume		Fluks (L/m ² .h)
Menit	Jam	mL	L	
0	0,000	0	0	0
2	0,033	13,5	0,0135	124,884
4	0,067	27,3	0,0273	126,272
6	0,100	39	0,039	120,259
8	0,133	51	0,051	117,946
10	0,167	64	0,064	118,409
12	0,200	73	0,073	112,550
14	0,233	85	0,085	112,330
16	0,267	96	0,096	111,008
18	0,300	113,5	0,1135	116,662
20	0,333	123	0,123	113,784
22	0,367	136	0,136	114,372
24	0,400	148	0,148	114,092
26	0,433	161,5	0,1615	114,922
28	0,467	173	0,173	114,312
30	0,500	185	0,185	114,092
32	0,533	198	0,198	114,477
34	0,567	212	0,212	115,362
36	0,600	226	0,226	116,148
38	0,633	239,8	0,2398	116,753
40	0,667	253	0,253	117,021
42	0,700	263	0,263	115,854
44	0,733	274,5	0,2745	115,423
46	0,767	287	0,287	115,433
48	0,800	299	0,299	115,248
50	0,833	312	0,312	115,449
52	0,867	324,5	0,3245	115,456
54	0,900	337	0,337	115,462
56	0,933	349,5	0,3495	115,468
58	0,967	362	0,362	115,474
60	1,000	374,5	0,3745	115,479

Tabel A.11 Data Pengujian Fluks *Dip-coating* 5 (20 ml/menit)

Membran yang digunakan	2 lapisan			
Flowrate	1,2 L/jam			
Mode aliran	dead end			
Luas permukaan	0,003243 m2			
<i>Dip-coating 5 kali</i>				
Waktu		Volume		Fluks (L/m2.h)
Menit	Jam	mL	L	
0	0,000	0	0	0
2	0,033	24	0,024	222,017
4	0,067	48,5	0,0485	224,329
6	0,100	73,5	0,0735	226,642
8	0,133	97,5	0,0975	225,486
10	0,167	122,2	0,1222	226,087
12	0,200	148,2	0,1482	228,492
14	0,233	173,1	0,1731	228,756
16	0,267	196,9	0,1969	227,683
18	0,300	221,9	0,2219	228,081
20	0,333	244,6	0,2446	226,272
22	0,367	268,9	0,2689	226,137
24	0,400	293,7	0,2937	226,411
26	0,433	317,7	0,3177	226,073
28	0,467	340,8	0,3408	225,188
30	0,500	362,8	0,3628	223,743
32	0,533	385,8	0,3858	223,057
34	0,567	409,3	0,4093	222,724
36	0,600	433,1	0,4331	222,582
38	0,633	457,1	0,4571	222,552
40	0,667	482,1	0,4821	222,988
42	0,700	507,3	0,5073	223,470
44	0,733	531,9	0,5319	223,657
46	0,767	555,9	0,5559	223,585
48	0,800	579,9	0,5799	223,520
50	0,833	603,4	0,6034	223,275
52	0,867	626,4	0,6264	222,871
54	0,900	648,9	0,6489	222,325
56	0,933	670,6	0,6706	221,554
58	0,967	693,6	0,6936	221,251
60	1,000	716,6	0,7166	220,968

Keterangan

- Perhitungan fluks permeat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$J = \frac{V}{A \times t}$$

dimana

J = Fluks (L/m².h)

V = Volume permeat (L)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = Waktu (h)

(Pratomo, 2003)



LAMPIRAN A.3 DATA PENGUJIAN SELEKTIVITAS MEMBRAN *POLYESTER*

Tabel A.12 Data Berat Wadah dan Sampel

Jumlah pelapisan	Laju alir (ml/menit)	Waktu (menit)	W0 (g)	W1 (g)	W2 (g) pemanasan 1	W2 (g) pemanasan 2
1	8	10	45,637	48,618	48,616	48,615
		20	49,461	53,012	53,010	53,008
		30	44,650	48,480	48,476	48,475
		40	40,882	44,489	44,484	44,483
		50	46,469	49,890	49,884	49,884
		60	44,798	48,940	48,932	48,932
2	20	10	43,096	46,140	46,136	46,136
		20	44,806	46,177	46,175	46,175
		30	42,949	45,244	45,240	45,240
		40	44,650	47,890	47,886	47,884
		50	44,620	47,440	47,434	47,431
		60	40,882	43,510	43,506	43,501
3	8	10	44,620	48,480	48,479	48,478
		20	44,813	48,394	48,392	48,391
		30	44,798	48,759	48,755	48,755
		40	42,942	46,628	46,623	46,624
		50	43,090	47,433	47,427	47,428
		60	44,650	48,830	48,823	48,825
5	20	10	44,043	48,869	48,866	48,866
		20	49,473	53,717	53,713	53,713
		30	44,659	48,069	48,065	48,065
		40	46,488	50,581	50,576	50,576
		50	43,096	47,320	47,314	47,314
		60	42,949	46,580	46,575	46,574
5	20	10	45,627	48,393	48,392	48,392
		20	44,814	48,318	48,315	48,315
		30	42,947	46,317	46,314	46,313
		40	40,847	43,071	43,068	43,068
		50	44,802	47,378	47,375	47,374
		60	43,092	47,286	47,279	47,279
20	20	10	44,043	49,276	49,274	49,273
		20	49,473	53,882	53,878	53,877
		30	44,659	48,154	48,149	48,149
		40	46,488	49,775	49,771	49,770
		50	44,043	47,863	47,858	47,857
		60	44,659	47,542	47,536	47,535

Tabel A.13 Data Kadar Air Sampel

Jumlah pelapisan	Laju alir (ml/menit)	Waktu (menit)	% Kadar Air setelah Pemanasan ke-		% Kadar Air dalam Permeat
			1	2	
1	8	10	0,067%	0,101%	0,101%
		20	0,056%	0,113%	0,113%
		30	0,104%	0,131%	0,131%
		40	0,139%	0,166%	0,166%
		50	0,175%	0,175%	0,175%
		60	0,193%	0,193%	0,193%
3	20	10	0,131%	0,131%	0,131%
		20	0,146%	0,146%	0,146%
		30	0,174%	0,174%	0,174%
		40	0,123%	0,185%	0,185%
		50	0,213%	0,319%	0,319%
		60	0,152%	0,342%	0,342%
5	8	10	0,026%	0,052%	0,052%
		20	0,056%	0,084%	0,084%
		30	0,101%	0,101%	0,101%
		40	0,136%	0,109%	0,109%
		50	0,138%	0,115%	0,115%
		60	0,167%	0,120%	0,120%
5	20	10	0,062%	0,062%	0,062%
		20	0,094%	0,094%	0,094%
		30	0,117%	0,117%	0,117%
		40	0,122%	0,122%	0,122%
		50	0,142%	0,142%	0,142%
		60	0,138%	0,165%	0,165%
5	20	10	0,036%	0,036%	0,036%
		20	0,086%	0,086%	0,086%
		30	0,089%	0,119%	0,119%
		40	0,135%	0,135%	0,135%
		50	0,116%	0,155%	0,155%
		60	0,167%	0,167%	0,167%
5	20	10	0,038%	0,057%	0,057%
		20	0,091%	0,113%	0,113%
		30	0,143%	0,143%	0,143%
		40	0,122%	0,152%	0,152%
		50	0,131%	0,157%	0,157%
		60	0,208%	0,243%	0,243%

Tabel A.14 Data Selektivitas Membran

Jumlah pelapisan	Laju alir (ml/mnt)	Waktu (menit)	Perhitungan Selektivitas			Rata-rata	$(Xi-\mu)^2$	$\sum(Xi-\mu)^2$	Standar Deviasi
			Cp	Cf	Selektivitas				
1	8	10	0,101%	24,00%	99,581%	99,390%	0,0003644%	0,0012%	0,141%
		20	0,113%	24,00%	99,531%		0,0001984%		
		30	0,131%	24,00%	99,456%		0,0000439%		
		40	0,166%	24,00%	99,307%		0,0000687%		
		50	0,175%	24,00%	99,269%		0,0001454%		
		60	0,193%	24,00%	99,195%		0,0003785%		
2	20	10	0,131%	24,00%	99,452%	99,098%	0,0012540%	0,0072%	0,346%
		20	0,146%	24,00%	99,392%		0,0008633%		
		30	0,174%	24,00%	99,274%		0,0003078%		
		40	0,185%	24,00%	99,228%		0,0001691%		
		50	0,319%	24,00%	98,670%		0,0018330%		
		60	0,342%	24,00%	98,573%		0,0027593%		
3	8	10	0,052%	24,00%	99,784%	99,597%	0,0003489%	0,00056%	0,096%
		20	0,084%	24,00%	99,651%		0,0000287%		
		30	0,101%	24,00%	99,579%		0,0000033%		
		40	0,109%	24,00%	99,548%		0,0000245%		
		50	0,115%	24,00%	99,520%		0,0000593%		
		60	0,120%	24,00%	99,502%		0,0000917%		
4	20	10	0,062%	24,00%	99,741%	99,512%	0,000526%	0,00113%	0,137%
		20	0,094%	24,00%	99,607%		0,000091%		
		30	0,117%	24,00%	99,511%		0,000000%		
		40	0,122%	24,00%	99,491%		0,000004%		
		50	0,142%	24,00%	99,408%		0,000107%		
		60	0,165%	24,00%	99,311%		0,000401%		
5	8	10	0,036%	24,00%	99,849%	99,516%	0,001114%	0,00205%	0,185%
		20	0,086%	24,00%	99,643%		0,000163%		
		30	0,119%	24,00%	99,505%		0,000001%		
		40	0,135%	24,00%	99,438%		0,000060%		
		50	0,155%	24,00%	99,353%		0,000264%		
		60	0,167%	24,00%	99,305%		0,000445%		
6	20	10	0,057%	24,00%	99,761%	99,399%	0,001313%	0,00320%	0,231%
		20	0,113%	24,00%	99,527%		0,000166%		
		30	0,143%	24,00%	99,404%		0,000000%		
		40	0,152%	24,00%	99,366%		0,000011%		
		50	0,157%	24,00%	99,346%		0,000028%		
		60	0,243%	24,00%	98,988%		0,001685%		

Keterangan:

- Perhitungan kadar air pada sampel (permeat) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{Kadar air} = \frac{(W1-W2)}{(W1-W0)} \times 100\%$$

dimana

W_0 = Berat wadah kosong (g)

W_1 = Berat wadah + permeate sebelum pemanasan (g)

W_2 = Berat wadah + permeate setelah pemanasan (g)

- Selektivitas membran ditentukan berdasarkan nilai Rejeksi (R) yang mana R dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

dimana

C_p = Kadar air pada sampel (permeat)

C_f = Kadar air pada umpan (*feed*)

(Notodarmojo dkk, 2014)



LAMPIRAN A.4 UJI BEDA NYATA TERKECIL (BNT)

LAMPIRAN A.4.1 UJI BNT KESTABILAN MEMBRAN *DIP-COATING* 1 KALI

Tabel A.15 Data Kestabilan Membran *Dip-coating* 1 Kali

Hari	Sudut kontak
0	156,860
1	156,719
2	156,857
3	156,941
4	156,777
5	155,638
6	155,779
7	155,920
8	154,669
9	153,645

Tabel A.16 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Hari	10	45	4,5	9,166667
Sudut kontak	10	1559,806	155,9806	1,220397

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	114731,8	1	114731,8	22091,29	2,91551E-29	4,413873
Within Groups	93,48357	18	5,193532			
Total	114825,3	19				

Tabel A.17 Hasil Perhitungan BNT

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Mse} &= 5,193532 \\
 2. \text{ t}(\alpha, \text{dfe}) &= 2,100922 \\
 \alpha &= 0,05 \\
 \text{dfe} &= 18 \\
 3. \text{ r} &= 10 \\
 \text{Nilai BNT} &= 2,141196
 \end{aligned}$$

Tabel A.18 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Hari	Gradien Penurunan	Hari	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
0	156,860	1	156,719	0,1410	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	2	156,857	0,0036	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	3	156,941	0,0812	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	4	156,777	0,0832	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	5	155,638	1,2220	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	6	155,779	1,0808	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	7	155,920	0,9398	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,860	8	154,669	2,1916	2,1412	Berbeda Signifikan
	156,860	9	153,645	3,2156	2,1412	Berbeda Signifikan
1	156,719	2	156,857	0,1374	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	3	156,941	0,2222	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	4	156,777	0,0578	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	5	155,638	1,0810	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	6	155,779	0,9398	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	7	155,920	0,7988	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	8	154,669	2,0506	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,719	9	153,645	3,0746	2,1412	Berbeda Signifikan
2	156,857	3	156,941	0,0848	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,857	4	156,777	0,0796	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,857	5	155,638	1,2184	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,857	6	155,779	1,0772	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,857	7	155,920	0,9362	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,857	8	154,669	2,1880	2,1412	Berbeda Signifikan
	156,857	9	153,645	3,2120	2,1412	Berbeda Signifikan
3	156,941	4	156,777	0,1644	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,941	5	155,638	1,3032	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,941	6	155,779	1,1620	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,941	7	155,920	1,0210	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,941	8	154,669	2,2728	2,1412	Berbeda Signifikan
	156,941	9	153,645	3,2968	2,1412	Berbeda Signifikan
4	156,777	5	155,638	1,1388	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,777	6	155,779	0,9976	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,777	7	155,920	0,8566	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,777	8	154,669	2,1084	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	156,777	9	153,645	3,1324	2,1412	Berbeda Signifikan
5	155,638	6	155,779	0,1412	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	155,638	7	155,920	0,2822	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	155,638	8	154,669	0,9696	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	155,638	9	153,645	1,9936	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
6	155,779	7	155,920	0,1410	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	155,779	8	154,669	1,1108	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan

	155,779	9	153,645	2,1348	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
7	155,920	8	154,669	1,2518	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan
	155,920	9	153,645	2,2758	2,1412	Berbeda Signifikan
8	154,669	9	153,645	1,0240	2,1412	Tidak Berbeda Signifikan

Keterangan

- Uji ANOVA Single Factor menggunakan Ms. Excel
- Uji BNT menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$BNT_{\alpha} = (t_{\alpha, df_e}) \sqrt{\frac{2(MS_E)}{r}}$$

dimana

t = Tabel

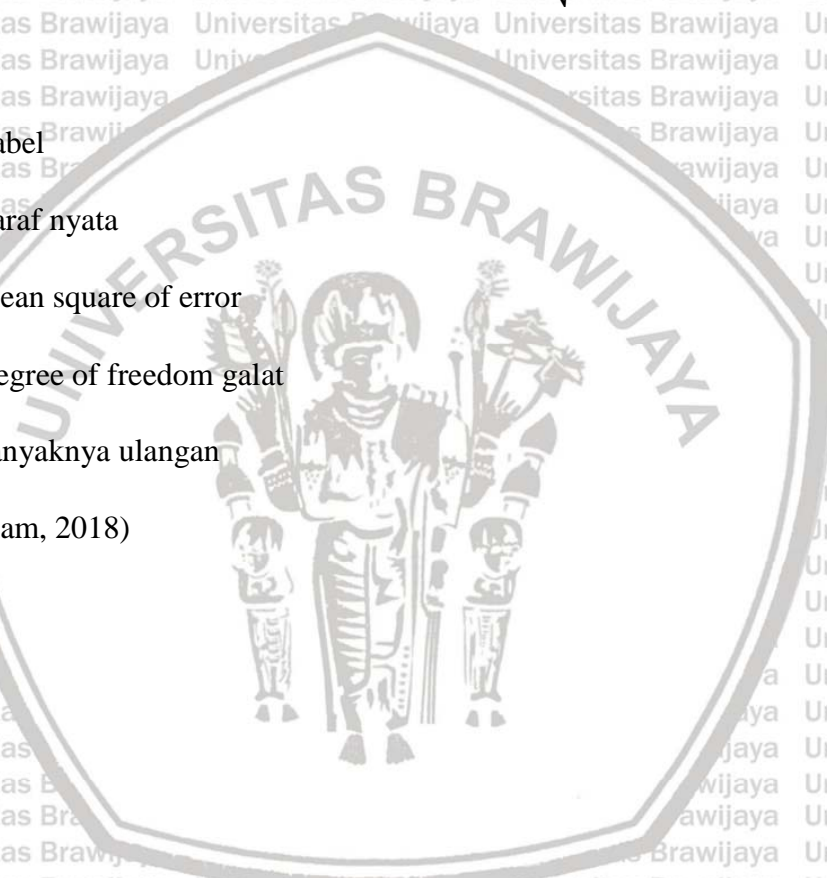
α = Taraf nyata

MS_E = Mean square of error

df_e = Degree of freedom galat

r = banyaknya ulangan

(Fahham, 2018)



LAMPIRAN A.4.2 UJI BNT KESTABILAN MEMBRAN DIP-COATING 2 KALI

Tabel A.19 Data Kestabilan Membran *Dip-coating* 2 Kali

Hari	Sudut kontak
0	158,006
1	158,539
2	159,073
3	158,370
4	158,141
5	157,912
6	157,682
7	157,453
8	157,224
9	156,216

Tabel A.20 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Hari	10	45	4,5	9,166667
Sudut kontak	10	1578,616	157,8616	0,622143

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	117598,9	1	117598,9018	24027,21	1,36967E-29	4,413873
Within Groups	88,09928	18	4,8944			
Total	117687	19				

Tabel A.21 Hasil Perhitungan BNT

1. Mse =	4,894405
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,100922
$\alpha =$	0,05
dfe =	18
3. $r =$	10
Nilai BNT =	2,078619

Tabel A.22 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Hari	Gradien Penurunan	Hari	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
0	158,006	1	158,539	0,5338	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	2	159,073	1,0674	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	3	158,370	0,3646	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	4	158,141	0,1352	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	5	157,912	0,0940	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	6	157,682	0,3234	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	7	157,453	0,5528	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	8	157,224	0,7816	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,006	9	156,216	1,7892	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
1	158,539	2	159,073	0,5336	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	3	158,370	0,1692	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	4	158,141	0,3986	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	5	157,912	0,6278	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	6	157,682	0,8572	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	7	157,453	1,0866	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	8	157,224	1,3154	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	9	156,216	2,3230	2,0786	Berbeda Signifikan
2	159,073	3	158,370	0,7028	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	159,073	4	158,141	0,9322	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	159,073	5	157,912	1,1614	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	159,073	6	157,682	1,3908	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	159,073	7	157,453	1,6202	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	159,073	8	157,224	1,8490	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	159,073	9	156,216	2,8566	2,0786	Berbeda Signifikan
3	158,370	4	158,141	0,2294	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,370	5	157,912	0,4586	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,370	6	157,682	0,6880	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,370	7	157,453	0,9174	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,370	8	157,224	1,1462	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,370	9	156,216	2,1538	2,0786	Berbeda Signifikan
4	158,141	5	157,912	0,2292	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,141	6	157,682	0,4586	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,141	7	157,453	0,6880	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,141	8	157,224	0,9168	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	158,141	9	156,216	1,9244	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
5	157,912	6	157,682	0,2294	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	157,912	7	157,453	0,4588	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	157,912	8	157,224	0,6876	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	157,912	9	156,216	1,6952	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
6	157,682	7	157,453	0,2294	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan
	157,682	8	157,224	0,4582	2,0786	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.3 UJI BNT KESTABILAN MEMBRAN DIP-COATING 3 KALI

Tabel A.23 Data Kestabilan Membran *Dip-coating* 3 Kali

Hari	Sudut kontak
0	157,851
1	157,906
2	157,952
3	158,725
4	158,357
5	157,990
6	157,623
7	157,455
8	157,390
9	157,325

Tabel A.24 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Hari	10	45	4,5	9,166667
Sudut kontak	10	1578,573	157,8573	0,194492

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	117592,3	1	117592,3	25123,46	9,16967E-30	4,413873
Within Groups	84,25043	18	4,680579			
Total	117676,6	19				

Tabel A.25 Hasil Perhitungan BNT

1. Mse =	4,680579
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,100922
$\alpha =$	0,05
dfe =	18
3. $r =$	10
Nilai BNT =	2,032707

Tabel A.26 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Hari	Gradien Penurunan	Hari	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
0	157,851	1	157,906	0,0548	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	2	157,952	0,1010	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	3	158,725	0,8734	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	4	158,357	0,5060	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	5	157,990	0,1388	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	6	157,623	0,2284	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	7	157,455	0,3964	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	8	157,390	0,4616	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,851	9	157,325	0,5264	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
1	157,906	2	157,952	0,0462	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	3	158,725	0,1852	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	4	158,357	0,1822	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	5	157,990	0,5494	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	6	157,623	0,9166	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	7	157,455	1,0846	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	8	157,390	1,1498	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,539	9	157,325	1,2146	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
2	157,952	3	158,725	0,7724	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,952	4	158,357	0,4050	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,952	5	157,990	0,0378	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,952	6	157,623	0,3294	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,952	7	157,455	0,4974	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,952	8	157,390	0,5626	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,952	9	157,325	0,6274	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
3	158,725	4	158,357	0,3674	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,725	5	157,990	0,7346	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,725	6	157,623	1,1018	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,725	7	157,455	1,2698	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,725	8	157,390	1,3350	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,725	9	157,325	1,3998	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
4	158,357	5	157,990	0,3672	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,357	6	157,623	0,7344	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,357	7	157,455	0,9024	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,357	8	157,390	0,9676	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	158,357	9	157,325	1,0324	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
5	157,990	6	157,623	0,3672	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,990	7	157,455	0,5352	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,990	8	157,390	0,6004	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,990	9	157,325	0,6652	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
6	157,623	7	157,455	0,1680	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan
	157,623	8	157,390	0,2332	2,0327	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.4 UJI BNT KESTABILAN MEMBRAN DIP-COATING 4 KALI

Tabel A.27 Data Kestabilan Membran *Dip-coating* 4 Kali

Hari	Sudut kontak
0	160,246
1	158,673
2	158,431
3	158,182
4	157,946
5	158,273
6	158,633
7	158,994
8	158,868
9	157,950

Tabel A.28 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Hari	10	45	4,5	9,166667
Sudut kontak	10	1586,196	158,6196	0,455297

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	118764,3	1	118764,3	24686,07	1,07387E-29	4,413873
Within Groups	86,59768	18	4,810982			
Total	118850,9	19				

Tabel A.29 Hasil Perhitungan BNT

1. Mse =	4,810982
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,100922
$\alpha =$	0,05
dfe =	18
3. $r =$	10
Nilai BNT =	2,060828

Tabel A.30 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Hari	Gradien Penurunan	Hari	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
0	160,246	1	158,673	1,5726	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	2	158,431	1,8148	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	3	158,182	2,0638	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	4	157,946	2,2994	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	5	158,273	1,9728	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	6	158,633	1,6122	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	7	158,994	1,2516	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	8	158,868	1,3776	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	160,246	9	157,950	2,2952	2,0608	Berbeda Signifikan
1	158,673	2	158,431	0,2422	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	3	158,182	0,4912	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	4	157,946	0,7268	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	5	158,273	0,4002	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	6	158,633	0,0396	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	7	158,994	0,3210	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	8	158,868	0,1950	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,673	9	157,950	0,7226	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
2	158,431	3	158,182	0,2490	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,431	4	157,946	0,4846	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,431	5	158,273	0,1580	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,431	6	158,633	0,2026	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,431	7	158,994	0,5632	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,431	8	158,868	0,4372	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,431	9	157,950	0,4804	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
3	158,182	4	157,946	0,2356	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,182	5	158,273	0,0910	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,182	6	158,633	0,4516	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,182	7	158,994	0,8122	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,182	8	158,868	0,6862	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,182	9	157,950	0,2314	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
4	157,946	5	158,273	0,3266	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	157,946	6	158,633	0,6872	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	157,946	7	158,994	1,0478	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	157,946	8	158,868	0,9218	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	157,946	9	157,950	0,0042	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
5	158,273	6	158,633	0,3606	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,273	7	158,994	0,7212	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,273	8	158,868	0,5952	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,273	9	157,950	0,3224	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
6	158,633	7	158,994	0,3606	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,633	8	158,868	0,2346	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan



	158,633	9	157,950	0,6830	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
7	158,994	8	158,868	0,1260	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
	158,994	9	157,950	1,0436	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan
8	158,868	9	157,950	0,9176	2,0608	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.5 UJI BNT KESTABILAN MEMBRAN *DIP-COATING* 5 KALI

Tabel A.31 Data Kestabilan Membran *Dip-coating* 5 Kali

Hari	Sudut kontak
0	163,289
1	161,843
2	161,701
3	161,559
4	161,417
5	163,241
6	162,523
7	162,205
8	162,681
9	160,091

Tabel A.32 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Hari	10	45	4,5	9,166667
Sudut kontak	10	1620,549	162,0549	0,916031

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	124117,8	1	124117,8	24619,96	1,10009E-29	4,413873
Within Groups	90,74428	18	5,041349			
Total	124208,5	19				

Tabel A.33 Hasil Perhitungan BNT

1. Mse =	5,041349
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,100922
$\alpha =$	0,05
dfe =	18
3. $r =$	10
Nilai BNT =	2,109591

Tabel A.34 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Hari	Gradien Penurunan	Hari	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
0	163,289	1	161,843	1,446	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	2	161,701	1,588	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	3	161,559	1,73	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	4	161,417	1,8714	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	5	163,241	0,0474	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	6	162,523	0,766	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	7	162,205	1,084	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	8	162,681	0,6078	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,289	9	160,091	3,198	2,109591	Berbeda Signifikan
1	161,843	2	161,701	0,142	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	3	161,559	0,284	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	4	161,417	0,4254	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	5	163,241	1,3986	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	6	162,523	0,68	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	7	162,205	0,362	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	8	162,681	0,8382	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,843	9	160,091	1,752	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
2	161,701	3	161,559	0,142	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,701	4	161,417	0,2834	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,701	5	163,241	1,5406	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,701	6	162,523	0,822	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,701	7	162,205	0,504	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,701	8	162,681	0,9802	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,701	9	160,091	1,61	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
3	161,559	4	161,417	0,1414	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,559	5	163,241	1,6826	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,559	6	162,523	0,964	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,559	7	162,205	0,646	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,559	8	162,681	1,1222	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,559	9	160,091	1,468	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
4	161,417	5	163,241	1,824	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,417	6	162,523	1,1054	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,417	7	162,205	0,7874	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,417	8	162,681	1,2636	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	161,417	9	160,091	1,3266	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
5	163,241	6	162,523	0,7186	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,241	7	162,205	1,0366	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,241	8	162,681	0,5604	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	163,241	9	160,091	3,1506	2,109591	Berbeda Signifikan
6	162,523	7	162,205	0,318	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan
	162,523	8	162,681	0,1582	2,109591	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN

LAMPIRAN A.4.6.1 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN ANTAR PERLAKUAN

Tabel A.35 Data Selektivitas Membran

Laju alir (ml/mnt)	Jumlah Pelapisan	Selektivitas
8	1	99,390%
	3	99,597%
	5	99,516%
20	1	99,098%
	3	99,512%
	5	99,399%

Tabel A.36 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

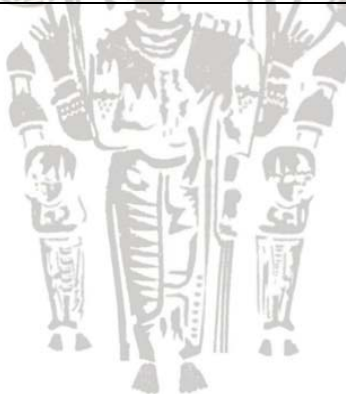
SUMMARY							
Groups	Count	Sum	Average	Variance			
Jumlah Pelapisan	6	18	3	3,2			
Selektivitas	6	5,96512	0,994187	3,08E-06			
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Between Groups	12,06986	1	12,06986	7,543656	0,020599	4,964603	
Within Groups	16,00002	10	1,600002				
Total	28,06988	11					

Tabel A.37 Hasil Perhitungan BNT

1. Mse =	1,600002
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,228139
$\alpha =$	0,05
$dfe =$	10
3. $r =$	6
Nilai BNT =	1,627203

Tabel A.38 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Laju Alir- Jumlah Pelapisan	Gradien Penurunan	Laju Alir- Jumlah Pelapisan	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
8-1	99,390%	8-3	99,597%	0,00207	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,390%	8-5	99,516%	0,00126	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,390%	20-1	99,098%	0,00292	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,390%	20-3	99,512%	0,00122	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,390%	20-5	99,399%	9E-05	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
8-3	99,597%	8-5	99,516%	0,00081	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,597%	20-1	99,098%	0,00499	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,597%	20-3	99,512%	0,00085	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,597%	20-5	99,399%	0,00198	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
8-5	99,516%	20-1	99,098%	0,00418	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,516%	20-3	99,512%	4E-05	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,516%	20-5	99,399%	0,00117	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
20-1	99,098%	20-3	99,512%	0,00414	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
	99,098%	20-5	99,399%	0,00301	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan
20-3	99,512%	20-5	99,399%	0,00113	1,627203	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6.2 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN *DIP-COATING* 1 KALI (LAJU ALIR 8 ml/menit)

Tabel A.39 Data Selektivitas Membran *Dip-coating* 1 Kali Laju Alir 8 ml/menit

Waktu (menit) 10^{-1}	selektivitas
1	99,58%
2	99,53%
3	99,46%
4	99,31%
5	99,27%
6	99,19%

Tabel A.40 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
waktu	6	21	3,5	3,5
selektivitas	6	5,9634	0,9939	2,43E-06

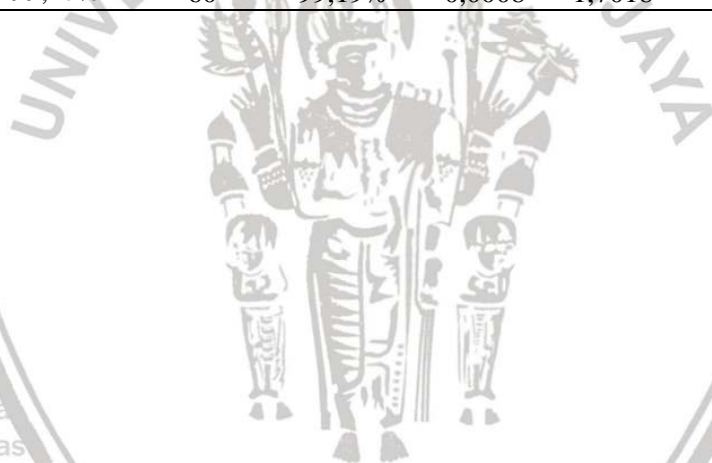
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	12,06986	1	12,06986	7,543656	0,020599	4,964603
Within Groups	16,00002	10	1,600002			
Total	28,06988	11				

Tabel A.41 Hasil Perhitungan BNT

Hasil Perhitungan BNT	
1. Mse =	1,750001
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,228139
$\alpha =$	0,05
dfe =	10
3. $r =$	6
Nilai BNT =	1,70177

Tabel A.42 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
10	99,58%	20	99,53%	0,0005	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,58%	30	99,46%	0,0012	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,58%	40	99,31%	0,0027	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,58%	50	99,27%	0,0031	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,58%	60	99,19%	0,0039	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
20	99,53%	30	99,46%	0,0007	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,53%	40	99,31%	0,0022	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,53%	50	99,27%	0,0026	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,53%	60	99,19%	0,0034	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	40	99,31%	0,0015	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
30	99,46%	50	99,27%	0,0019	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	60	99,19%	0,0027	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,31%	50	99,27%	0,0004	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
40	99,31%	60	99,19%	0,0012	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,27%	60	99,19%	0,0008	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6.3 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN *DIP-COATING* 1 KALI (LAJU ALIR 20 ml/menit)

Tabel A.43 Data Selektivitas Membran *Dip-coating* 1 Kali Laju Alir 20 ml/menit

Waktu (menit)	selektivitas
10^{-1}	
1	99,45%
2	99,39%
3	99,27%
4	99,23%
5	98,67%
6	98,57%

Tabel A.44 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
waktu	6	21	3,5	3,5
selektivitas	6	5,9458	0,990967	1,44E-05

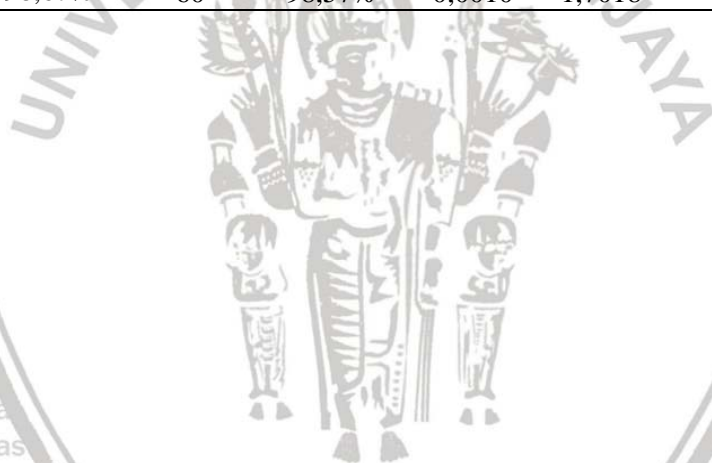
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	18,88574	1	18,88574	10,79181	0,008218	4,964603
Within Groups	17,50007	10	1,750007			
Total	36,38582	11				

Tabel A.45 Hasil Perhitungan BNT

Hasil Perhitungan BNT	
1. Mse =	1,750007
2. $t(\alpha, df_e) =$	2,228139
$\alpha =$	0,05
$df_e =$	10
3. $r =$	6
Nilai BNT =	1,701773

Tabel A.46 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
10	99,45%	20	99,39%	0,0006	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,45%	30	99,27%	0,0018	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,45%	40	99,23%	0,0022	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,45%	50	98,67%	0,0078	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,45%	60	98,57%	0,0088	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
20	99,39%	30	99,27%	0,0012	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,39%	40	99,23%	0,0016	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,39%	50	98,67%	0,0072	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,39%	60	98,57%	0,0082	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	40	99,23%	0,0023	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
30	99,46%	50	98,67%	0,0079	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	60	98,57%	0,0089	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,31%	50	98,67%	0,0064	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
40	99,31%	60	98,57%	0,0074	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	98,67%	60	98,57%	0,0010	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6.4 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN *DIP-COATING* 3 KALI (LAJU ALIR 8 ml/menit)

Tabel A.47 Data Selektivitas Membran *Dip-coating* 3 Kali Laju Alir 8 ml/menit

Waktu (menit) 10^{-1}	selektivitas
1	99,78%
2	99,65%
3	99,58%
4	99,55%
5	99,52%
6	99,50%

Tabel A.48 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
waktu	6	21	3,5	3,5
selektivitas	6	5,9758	0,995967	1,08E-06

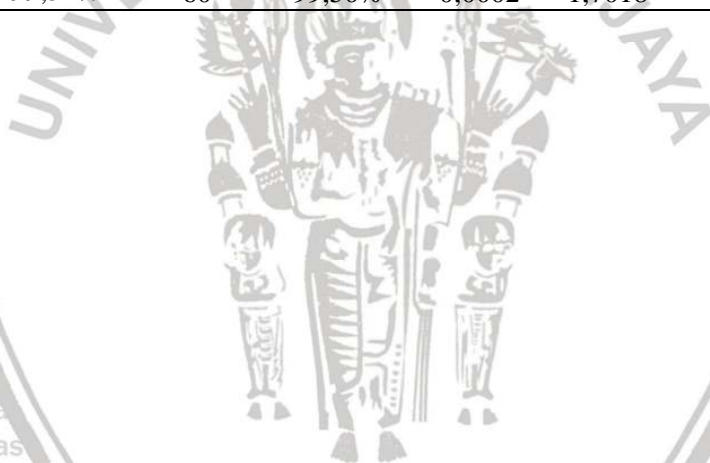
ANOVA					
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	18,81055	1	18,81055	10,74888	0,008309
Within Groups	17,50001	10	1,750001		
Total	36,31055	11			

Tabel A.49 Hasil Perhitungan BNT

Hasil Perhitungan BNT	
1	Mse = 1,750001
2	$t(\alpha, dfe) = 2,228139$
	$\alpha = 0,05$
	$dfe = 10$
3	$r = 6$
Nilai BNT = 1,701769	

Tabel A.50 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
10	99,78%	20	99,65%	0,0013	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,78%	30	99,58%	0,0020	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,78%	40	99,55%	0,0023	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,78%	50	99,52%	0,0026	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,78%	60	99,50%	0,0028	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
20	99,65%	30	99,58%	0,0007	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,65%	40	99,55%	0,0010	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,65%	50	99,52%	0,0013	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,65%	60	99,50%	0,0015	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	40	99,55%	0,0009	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
30	99,46%	50	99,52%	0,0006	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	60	99,50%	0,0004	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,31%	50	99,52%	0,0021	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
40	99,31%	60	99,50%	0,0019	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,52%	60	99,50%	0,0002	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6.5 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN *DIP-COATING* 3 KALI (LAJU ALIR 20 ml/menit)

Tabel A.51 Data Selektivitas Membran *Dip-coating* 3 Kali Laju Alir 20 ml/menit

Waktu (menit) 10^{-1}	selektivitas
1	99,74%
2	99,61%
3	99,51%
4	99,49%
5	99,41%
6	99,31%

Tabel A.52 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
waktu	6	21	3,5	3,5
selektivitas	6	5,9707	0,995117	2,27E-06

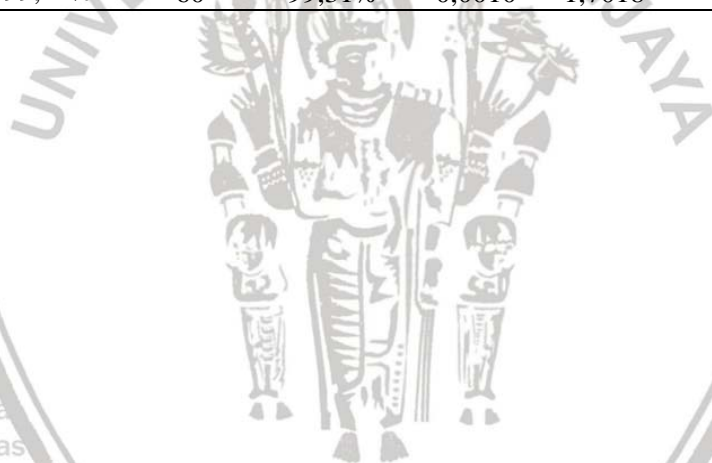
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	18,82332	1	18,82332	10,75618	0,008294	4,964603
Within Groups	17,50001	10	1,750001			
Total	36,32333	11				

Tabel A.53 Hasil Perhitungan BNT

Hasil Perhitungan BNT	
1. Mse =	1,750001
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,228139
$\alpha =$	0,05
dfe =	10
3. $r =$	6
Nilai BNT =	1,70177

Tabel A.54 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
10	99,74%	20	99,61%	0,0013	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,74%	30	99,51%	0,0023	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,74%	40	99,49%	0,0025	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,74%	50	99,41%	0,0033	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,74%	60	99,31%	0,0043	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
20	99,61%	30	99,51%	0,0010	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,61%	40	99,49%	0,0012	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,61%	50	99,41%	0,0020	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,61%	60	99,31%	0,0030	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
30	99,46%	40	99,49%	0,0003	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	50	99,41%	0,0005	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	60	99,31%	0,0015	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
40	99,31%	50	99,41%	0,0010	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,31%	60	99,31%	0,0000	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
50	99,41%	60	99,31%	0,0010	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6.6 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN *DIP-COATING* 5 KALI (LAJU ALIR 8 ml/menit)

Tabel A.55 Data Selektivitas Membran *Dip-coating* 5 Kali Laju Alir 8 ml/menit

Waktu (menit) 10^{-1}	selektivitas
1	99,85%
2	99,64%
3	99,51%
4	99,44%
5	99,35%
6	99,30%

Tabel A.56 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
waktu	6	21	3,5	3,5
selektivitas	6	5,9709	0,99515	4,14E-06

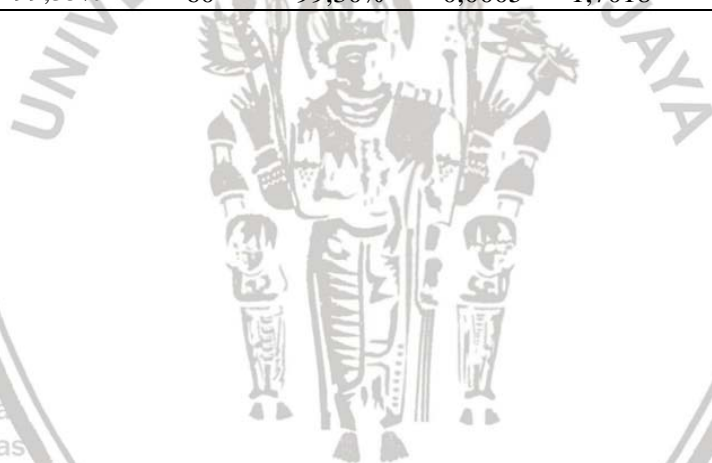
ANOVA					
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	18,82282	1	18,82282	10,75588	0,008294
Within Groups	17,50002	10	1,750002		
Total	36,32284	11			

Tabel A.57 Hasil Perhitungan BNT

Hasil Perhitungan BNT	
1. Mse =	1,750002
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,228139
$\alpha =$	0,05
$dfe =$	10
3. $r =$	6
Nilai BNT =	1,70177

Tabel A.58 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
10	99,85%	20	99,64%	0,0021	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,85%	30	99,51%	0,0034	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,85%	40	99,44%	0,0041	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,85%	50	99,35%	0,0050	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,85%	60	99,30%	0,0055	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
20	99,64%	30	99,51%	0,0013	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,64%	40	99,44%	0,0020	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,64%	50	99,35%	0,0029	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,64%	60	99,30%	0,0034	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	40	99,44%	0,0002	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
30	99,46%	50	99,35%	0,0011	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	60	99,30%	0,0016	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,31%	50	99,35%	0,0004	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
40	99,31%	60	99,30%	0,0001	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,35%	60	99,30%	0,0005	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN A.4.6.7 UJI BNT SELEKTIVITAS MEMBRAN *DIP-COATING* 5 KALI (LAJU ALIR 20 ml/menit)

Tabel A.59 Data Selektivitas Membran *Dip-coating* 5 Kali Laju Alir 20 ml/menit

Waktu (menit) 10^{-1}	selektivitas
1	99,76%
2	99,53%
3	99,40%
4	99,37%
5	99,35%
6	98,99%

Tabel A.60 Hasil Perhitungan ANOVA: *Single Factor*

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
waktu	6	21	3,5	3,5
selektivitas	6	5,964	0,994	6,36E-06

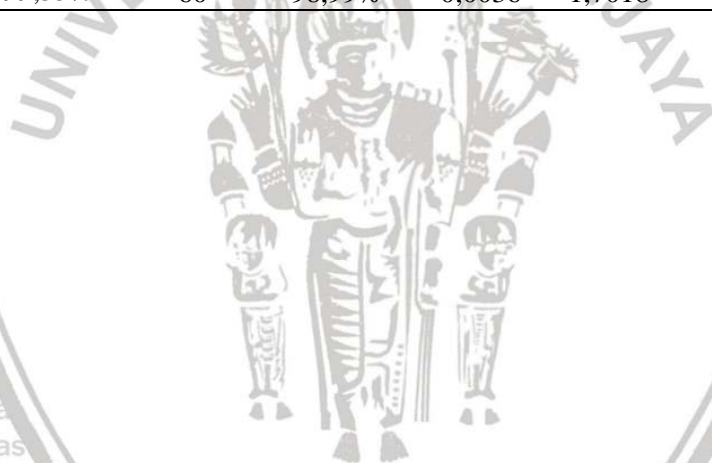
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	18,840108	1	18,84011	10,76576	0,008273	4,964603
Within Groups	17,5000318	10	1,750003			
Total	36,3401398	11				

Tabel A.61 Hasil Perhitungan BNT

Hasil Perhitungan BNT	
1. Mse =	1,750003
2. $t(\alpha, dfe) =$	2,228139
$\alpha =$	0,05
dfe =	10
3. $r =$	6
Nilai BNT =	1,701771

Tabel A.62 Kesimpulan Keseluruhan Uji BNT

Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Waktu (menit)	Gradien Penurunan	Besar Beda	BNT	Keterangan
10	99,76%	20	99,53%	0,0023	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,76%	30	99,40%	0,0036	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,76%	40	99,37%	0,0039	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,76%	50	99,35%	0,0041	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,76%	60	98,99%	0,0077	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
20	99,53%	30	99,40%	0,0013	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,53%	40	99,37%	0,0016	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,53%	50	99,35%	0,0018	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,53%	60	98,99%	0,0054	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	40	99,37%	0,0009	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
30	99,46%	50	99,35%	0,0011	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,46%	60	98,99%	0,0047	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,31%	50	99,35%	0,0004	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
40	99,31%	60	98,99%	0,0032	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan
	99,35%	60	98,99%	0,0036	1,7018	Tidak Berbeda Signifikan



LAMPIRAN B. DOKUMENTASI KEGIATAN



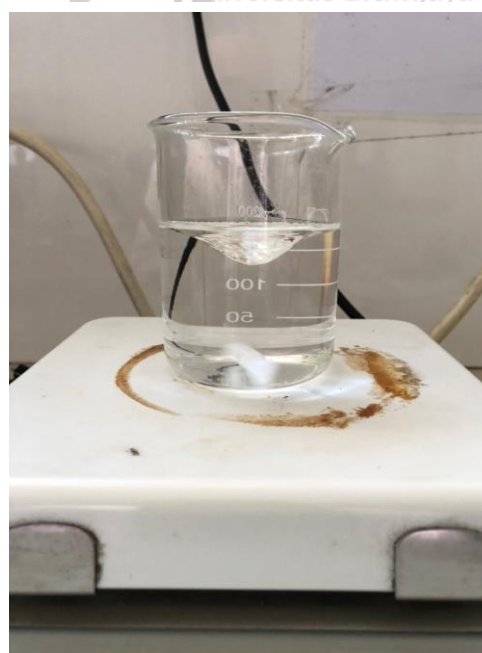
Gambar B.1 Perendaman kain *polyester* dengan larutan alkali



Gambar B.2 Pengambilan natrium silikat di lemari asam



Gambar B.3 Pembuatan sol silika



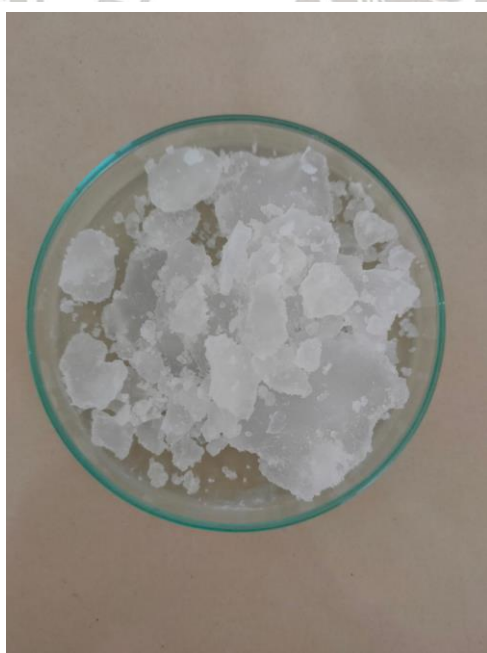
Gambar B.4 Pencampuran TEOS dengan n-heksana



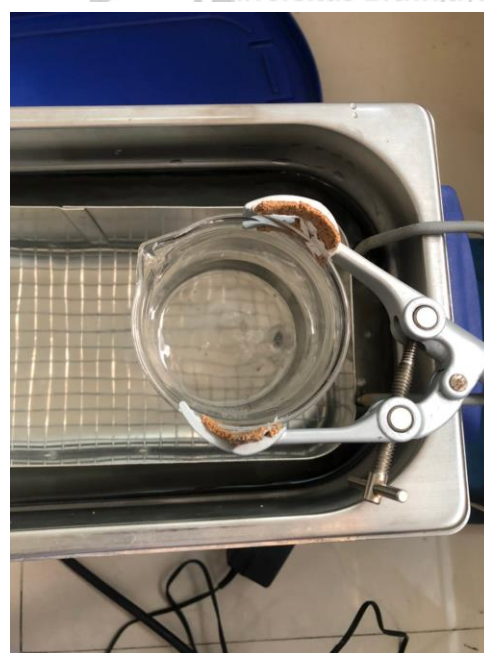
Gambar B.5 Pembuatan gel silika hidrofofik



Gambar B.6 Pemisahan silika hidrofofik dari TEOS



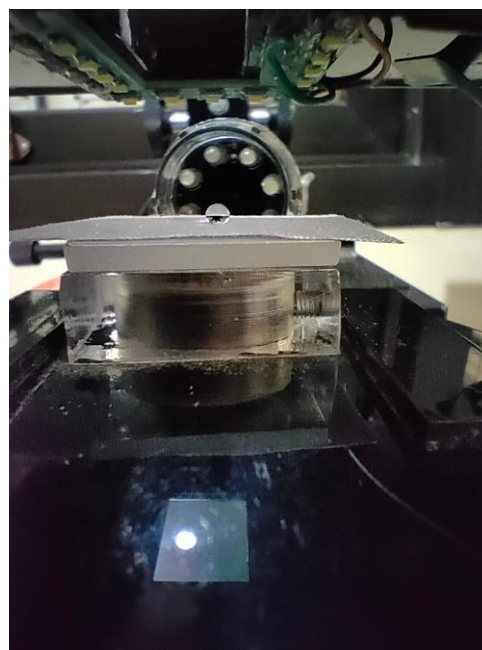
Gambar B.7 Gel silika hidrofofik



Gambar B.8 Pendispersian gel silika dengan isopropanol



Gambar B.9 *Dip-coating* kain polyester dalam larutan silika hidrofobik



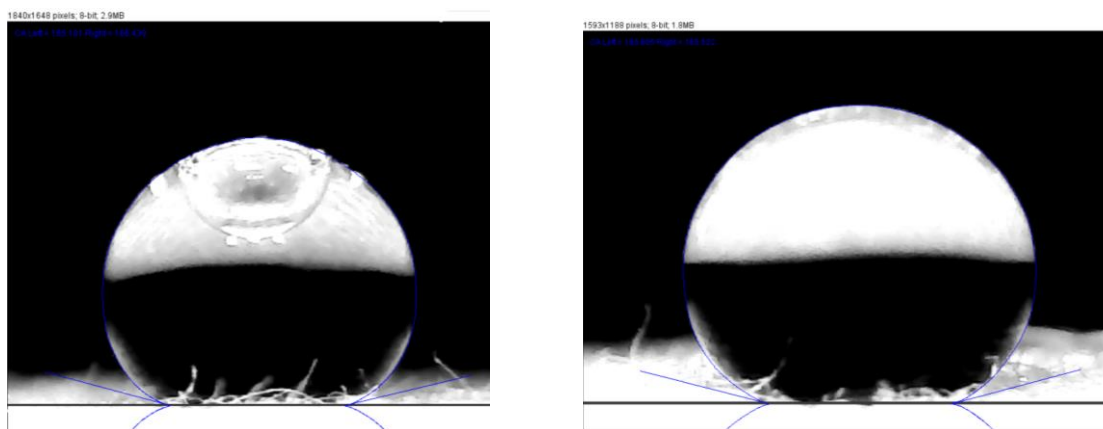
Gambar B.10 Pengukuran sudut kontak membran menggunakan goniometer



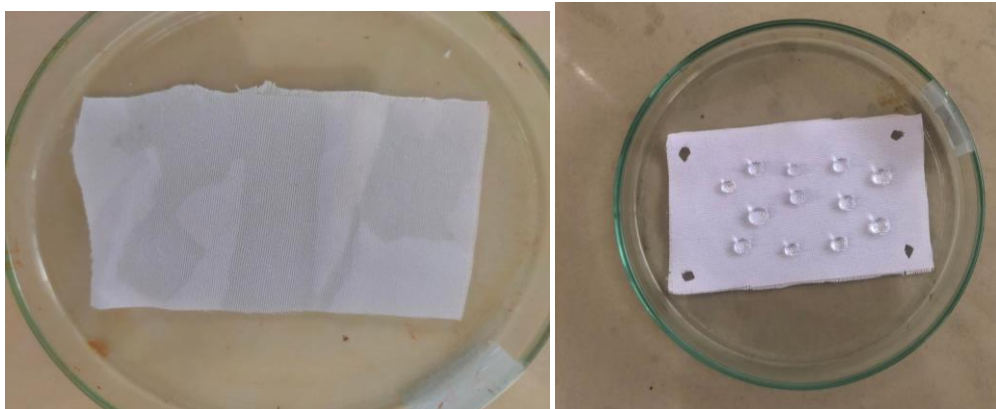
Gambar B.11 Proses pemisahan campuran minyak-air



Gambar B.12 Perbedaan *feed*, permeate, dan retentat



Gambar B.13 Pengukuran sudut kontak menggunakan imageJ



Gambar B.14 Perbedaan kain *polyester* sebelum dan sesudah *dip-coating*